

KOKEELLINEN TUTKIMUS SALAOJAPUTKIEN
VEDENJOHTOKYVYSTÄ

Tuula Suortti

Diplomityö

Tehty opinnäytteeksi Hel-
singin Teknillisen korkea-
koulun rakennusinsinööri-
osastolla professori Jussi
Hoolin johdolla

ALKUSANAT

MERKINNÄT

1	JOHDANTO	1
2	KATSAUS SUOMALASEEN MITOITUSRUTINIIN SALAOJAPUTKIEK MITOITUKSESSA	3
2.1	Mitoitusperusteet	3
2.1.1	Mitoitusvirtaama	3
2.1.2	Vedennopeus	4
2.2	Mitoitusnomogrammi	5
3	NESTEEN VIRTAUS PUTKESSA	8
3.1	Bernoullin yhtälö	8
3.2	Energiahäviö	9
3.2.1	Kitkahäviö	9
3.2.2	Paikallishäviöt	12
3.3	Teorian soveltaminen salaojaputkissa tapahtuvaan virtaukseen	13
3.3.1	Virtaus tiiliputkissa	13
3.3.2	Virtaus korrugoiduissa muovi- putkissa	17
4	MALLIKOKEIDEN KÄYTTÖ SALAOJAPUTKIEK VEDENJOHTOKYKYÄ KOSKEVISSA TUTKIMUKSISSA	18
4.1	Mallikokeiden tarkoitus	18
4.2	Yhteenvedo hydraulisten kokeiden suorittamista varten laadituista ohjeista ja suoritetuista mallikokeista	19
4.2.1	Tutkimukset ja ohjeet	19
4.2.2	Koeperiaatteet	19
4.2.3	Koeputket	20
4.2.4	Laitteisto	21
4.2.5	Kokeen suoritus	22
4.2.6	Mittaustulosten käsittely	24
4.2.7	Tulokset	25
4.3	Tuloksia muista muovi- sekä tiilisalaoja- putkille tehdyistä kokeista	27

5	KOEJÄRJESTELYT TEKNILLISESSÄ KORKEA- KOULUSSA	31
5.1	Kokeiden tarkoitus	31
5.2	Koeperiaate	31
5.3	Putkimateriaalit	31
5.3.1	Putkien valmistajat	31
5.3.2	Putkien koot ja muodot	32
5.3.3	Putkista tehdyt määritykset	35
5.4	Putken asennus ja veden kierto	38
5.4.1	Tutkittavan putken tiivistäminen	38
5.4.2	Putkilinja	40
5.4.3	Veden kierto	40
5.5	Vedenpaineen mittaus	43
5.6	Virtaaman mittaus	44
5.7	Lämpötilan mittaus	44
6	MITTAUSHAVAINNOT JA NIIDEN KÄSITTELY	46
6.1	Havainnot ja niiden tarkkuus	46
6.1.1	Alkuvalmistelut	46
6.1.2	Vedenpaine	46
6.1.3	Virtaama	47
6.1.4	Lämpötila	47
6.2	Laskelmat	47
6.2.1	Virtaaman Q ja kaltevuuden h_f/L riippuvuus	47
6.2.2	Kitkahäviökerroin	47
6.3	Korjaukset mittaustuloksiin	48
6.3.1	Nystyröiden vaikutuksen eliminoi- minen	48
6.3.2	Lämpötilakorjaus	48
6.4	Mitoitusnomogrammin piirtäminen	49
7	TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO	50
7.1	Tulokset	50
7.2	Tulosten tarkastelua	55
7.2.1	Kitkahäviökerroin	55
7.2.2	Mitoitusnomogrammin tarkastelu	58
7.2.3	Virhetarkastelu	60

	sivu
7.3 Käytetyn koemenetelmän edustavuus saatujen tulosten valossa	61
7.3.1 Tiivistystavan tarkastelu	61
7.3.2 Suomalaisen ja ruotsalaisen koemenetelmän vertailu	62
7.4 Korrugoinnin vaikutus	64
7.4.1 Korrugoinnin syvyys	64
7.4.2 Korrugoinnin muoto	66
7.5 Tiiliputkien saumojen vaikutus	67
8 JOHTOPÄÄTELMÄ	70
TIIVISTELMÄ	73
ENGLISH SUMMARY	75
KIRJALLISUUSLUETTELO	77
LIITTEET	

ALKUSANAT

Käsillä oleva tutkimus on tehty Helsingin Teknillisen korkeakoulun rakennusinsinööriosastolla rinnan Markku Maunulan työn "Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenottokyvystä" kanssa. Työtä on valvonut ja ohjannut professori Jussi Hooli, jolle haluan osoittaa parhaat kiitokseni.

Osaksi työni kustannuksista ja tutkimusmateriaaleista ovat vastanneet Suomen Muoviteollisuusliitto ja Salaojakeskus r.y. Muoviputket on toimitettu Nokia Oy:n ja Finlayson Oy:n tehtailta ja tiiliputket Paloheimo Yhtymältä. Tiiliputket on koestettu Suomen Tiiliteollisuusliiton tiililaboratoriossa. Esitän heille kaikille mitä parhaimmat kiitokseni osallisuudesta työni toteutumiseen.

Tutkimuksen kokeellinen osa on suoritettu Teknillisen korkeakoulun vesirakennuslaboratoriossa, mistä haluan kiittää professori Harri Sistosta. Kiitän myös diplomi-insinööri Antti Hepojokea asiantuntevasta opastuksesta kokeiden aikana, samoin kuin laboratorioteknikko Markku Makkosta ja muuta laboratoriohenkilökuntaa saamastani suuresta avusta koejärjestelyjen toteutamisessa.

Espoossa 29.5.1978

Teula Suortti

MERKINNÄT

A	=	putken poikkipinta-ala
c	=	Chezyn kerroin
d	=	putken nimellishalkaisija
d_i	=	sisähalkaisija
d_o	=	ulkohalkaisija
d_{si}	=	sisäputken sisähalkaisija
d_{ui}	=	ulkoputken sisähalkaisija
f	=	kitkahäviökerroin
h	=	mittapadon vedenpinnan korkeuslukema, energiaviivan kaltevuus
h_o	=	virtaaman nollakorkeus mittapadossa
h_f	=	energiahäviö
h_k	=	kitkahäviö
h_p	=	paikallishäviö
I	=	$h =$ energiaviivan kaltevuus
k	=	$c/2$, putken karkeus
k/d	=	putken suhteellinen karkeus
K, m, n, k, p, r	=	vakioita
L	=	putkijakson pituus
L_o	=	tulo-osuus
l	=	yhden tiiliputken pituus
M	=	$1/n =$ Manningin kerroin
m	=	vakio Kutterin kaavassa
p	=	paine
p_1, p_2, p_3, p_4	=	manometrilukemat
Q	=	virtaama
R	=	hydraulinen säde
Re	=	Reynoldsin luku
s	=	korjaustekijä, hajonta
t	=	seinämän paksuus
v	=	vedennopeus

- y = asemakorkeus
 ρ = ominaispaino
 ζ = paikallishäviökerroin
 ν = kinemaattinen viskositeetti

1 JOHDANTO

Jo viime vuosisadan puolivälissä tiedetään Suomessa toimeenpannun ensimmäiset salaojitukset putkia johtoaineena käyttäen. Laajempaa suosiota salaojitus toiminta sai kuitenkin vasta 1900-luvun alkupuolella, josta lähtien sen merkitys maan perustarvustoinenpiteenä kasvoi aina 1960-luvulle saakka. Tällöin saavuttivat vuosittaiset salaojitusmäärät sittemmin jokseenkin samana pysyneen arvon, josta vain muutamat ennätyselliset vuodet ovat olleet poikkeuksena.

Ennen tiiliputkien yleistymistä oli tiloilla tehty kivi-, rima-, risu- ym. salaojia. Myös sorvattuja puuputkia ja lautaputkia oli kokeiltu. Jälkimmäisiä käytetään edelleen suomaiden ojitukseen. Suurin osa tämän päivän ojituksista on tehty käyttäen tiiliputkia.

Ensimmäiset muovisalaojitukset tehtiin ulkomaisilla putkilla 1950-luvun lopussa. Kotimaassa muoviputkien valmistus käynnistyi v. 1963. Aluksi tehtiin sekä sileää että aallotettua putkea, joista ensinmainitun valmistus on sittemmin lopetettu. Muoviputket ovat kehittyneet jatkuvasti. Putkikoot ovat lisääntyneet ja muuttuneet tämän kehityksen myötä. Näiden putkien osuus vuosittaisissa salaojituksissa on kasvusuunnassa. Mainittakoon, että esim. v. 1977 salaojitettiin muoviputkia käyttäen 3793 ha, joka on 13,6 % kaikista ko. vuonna suoritetuista salaojituksista.

Salaojaputket mitoitetaan johdettavan virtaaman ja halutun vedennopeuden mukaan. Lauri Keso on laatinut tiiliputkille nomogrammin, jota on käytetty myös muoviputkien mitoitukseen. Koska aallotettujen muoviputkien vedenjohtokyky poikkeaa tiiliputkista erilaisen seinämän rakenteen vuoksi, on osoittautunut tarpeelliseksi määrätä näiden uusien putkimateriaalien vedenkuljetuskapasiteetti. Tämän ominaisuuden selvittämiseksi suoritettiin laboratorio-olosuhteissa koesarja. Tämä siksi, että uusimmat putkikoot voitaisiin mitoitaa oikein.

Käytössä oleva nomogrammi on laadittu laskennallisesti Kutterin kaavan avulla. Nomogrammin suhde käytetyllä koemenetelmällä saatuihin tuloksiin pyrittiin selvittämään suorittamalla kokeet myös tiiliputkilla.

Salaojien on kyettävä riittävän nopeasti johtamaan lumen sulamisesta aiheutuvat ja muulloin runsaista sateista johtuvat tulvavedet. Putkikoon oikealla mitoituksella vähennetään salaojien tukkeutumisriskiä. Tämä ei suinkaan ole ainut salaojituksen toimivuuteen vaikuttava tekijä, mutta se on yksi tärkeimmistä. Toinen salaojien merkittävä ominaisuus on putkien vedenottokyky. Ko. ominaisuuteen on perehdytty tämän tutkimuksen rinnalla "Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenottokyvystä" -nimisessä tutkimuksessa. Käytetyt putket olivat molemmissa tapauksissa samat, minkä johdosta putkimateriaaleja esittelevät kappaleet ovat näissä tutkimusselostuksissa pääosin yhtenevät.

Tämän tutkimuksen pyrkimyksenä on taata sekä muovi- että tiiliputkien oikea mitoitus, jotta salaojat voisivat entistä suuremmalla varmuudella täyttää niille asetetun tehtävän.

2 KATSAUS SUOMALASEEN MITOITUSRUTIINIIN SALAOJAPUTKIEK MITOITUKSESSA

2.1 Mitoitusperusteet

Salaojien tulee olla siten mitoitettuja, että ne keväisin johtavat lumen sulamisvedet ja muulloin runsaista sateista aiheutuvat tulvavedet riittävän nopeasti pois pelloilta. Putkissa tapahtuva liettyminen pyritään estämään pitämällä vedennopeudet tarpeeksi suurina [1].

2.1.1 Mitoitusvirtaama

Putkikokoja laskettaessa arvioidaan virtaaman olevan 1.0 l/s salaojitettua pellohehtaaria kohti tiiviillä maalajeilla. Turvemailla käytetään valumaa 0.8 - 0.9 l/s ha, löyhässä hietamaassa 0.7 - 0.8 l/s ha, urpahiesumaassa 0.7 l/s ha ja urpasavimaassa 0.5 l/s ha. Keski- ja Itä-Suomessa käytetään 20 % suurempia valumia ja Oulujoen pohjoispuolella 50 % suurempia valumia. Notkoja ja pohjavetisiä maita salaojitettaessa suurennus on myös 50 %. Valuman suuruuteen vaikuttavat mm. maalaji, maan vetisyys, maaston viettävyys ja alueen maantieteellinen asema. Edellä esitetyt arviot valumalle ovat kuitenkin jo vakiintuneet käyttöön ja osoittautuneet riittävän tarkoiksi putkikokojen määräämistä varten. Tämän vuoksi vesimäärät arvioidaan erikseen maastotutkimuksen perusteella ainoastaan lähteikköjä mitoitettaessa ja joissakin erikoistapauksissa.

Peltoalueen ulkopuolelta tulevia sivuvesiä mitoitettaessa tulee käyttää suurempia valumia kuin edellä mainitut. Kun ulkopuolinen alue on metsäistä, on valuma 2 l/s ha ja avo-ojitetun pelton ollessa kyseessä käytetään valumana 3 l/s ha. Jos valuma-alueen maaperä on läpäisevää hieta- tai hiekkamaata tai sora-harjua, voidaan valuma-arvoja pienentää 30 - 50 %. Suurien virtaamien johtamiseen voidaan käyttää putkiojaa [2].

2.1.2 Vedennopeus

Vedennopeus putkissa on oleellisesti riippuvainen ojan kaltevuudesta. Myös putken ominaisuudet, kuten seinämän karkeus ja epäjatkuvuuskohdat vaikuttavat putkessa tapahtuvaan virtaukseen. Jossain määrin myös veden viskositeetti määrää vedennopeutta.

Imuojat suunnitellaan periaatteessa siten, että kaltevuus pysyy samana tai lisääntyy alaspäin mentäessä. Pieninpanä kaltevuutena imuojissa käytetään 0.3 %. Juoksevilla hiesuhietamailla vähimmäiskaltevuuden tulisi olla 0.5 %. Tällöin ovat vedennopeudet halkaisijaltaan 40 mm:n tiiliputkissa vastaavasti 0.16 - 0.24 m/s [1]. Jos käytettävä putkikoko on suurempi, voidaan kaltevuutta pienentää. Imuojan pituus riippuu ojaetäisyydestä, valumasta ja kaltevuudesta. Pituudeltaan 200 m ylittäviä imuojia käytetään harvoin [2].

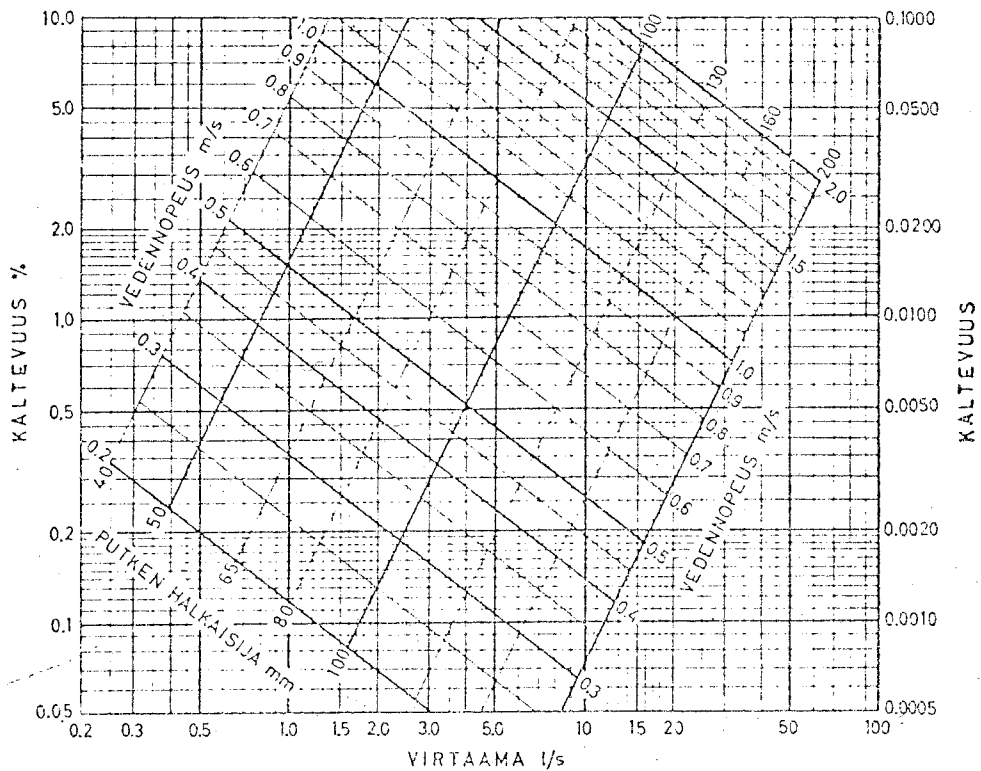
Kokoojajojien mitoitusperiaate on se, että vedennopeus koko ajan kasvaa. Kokoojan kaltevuus saa joissakin tapauksissa pienentyäkin, jos putkikoko ja virtaama samalla lisääntyvät. Suurissa putkissa vedennopeus saattaa nimittäin pienellä kaltevuudella olla suurempi kuin pienissä putkissa suurella kaltevuudella. Jos vedennopeus hidastuu alaspäin mentäessä, on hidastumiskohtaan rakennettava rinnekaivo putkien tukkeutumisen estämiseksi. Kokoojien pienin sallittu vedennopeus on 0.10 - 0.30 m/s. Juoksevissa maalajeissa sen tulisi kuitenkin olla huomattavasti suurempi. Taulukossa 1 on esitetty yhdistelmä kokoojajojien vähimmäiskaltevuuksista. Kaltevuus syöpyvissä maalajeissa ei saisi ylittää 3 %, koska tällöin vesi voi ympäröivässä maaperässä virratessaan irrottaa mukaansa maahiukkasia [2].

Taulukko 1. Kokoojaojan vähimmäiskaltevuudet [1].

Putken halkaisija mm	50	65	80	100	130	160
Vähimmäiskaltevuus hiesuhietamaissa %	0.45	0.35	0.30	0.25	0.20	0.17
Vähimmäiskaltevuus muissa maissa %	0.25	0.20	0.17	0.15	0.12	0.10

2.2 Mitoitusnomogrammi

Putkikoko määrätään yleensä graafisesti kuvan 1 osoittaman mitoitusnomogrammin avulla. Nomogrammi pätee tiiliputkille. Putkikoko saadaan selville, kun tunnetaan ojan kaltevuus ja virtaama. Ko. tilanteessa vallitseva vedennopeus saadaan samoin nomogrammistä. Kuvaa voidaan käyttää myös lähtemällä virtaamasta ja halutusta vedennopeudesta.



Kuva 1. Tiiliputkien mitoitusnomogrammi [2].

Nemogrammi on laadittu laskennallisesti. Vedennopeus virtauksen ollessa tasaista on Chezyn mukaan

$$v = c \sqrt{RI}, \quad (1)$$

jossa v = vedennopeus

c = Chezyn kerroin

R = hydraulinen säde

I = energiaviivan kaltevuus.

Putkille muunnettuna kaava (1) saa muodon

$$v = k \sqrt{dh}, \quad (2)$$

jossa $k = \frac{c}{2}$

d = putken halkaisija

h = kaltevuus.

Yleisimmin vakion k arvo lasketaan Kutterin kaavalla (3)

$$k = \frac{50 \sqrt{d}}{2m + \sqrt{d}} \quad (3)$$

jossa m = vakio [3].

Tiiliputkien mitoitusnomogrammia tehtäessä on m :n arvona käytetty 0.20 [1].

Kokoonpuristumattoman nesteen ollessa kyseessä on virtaama

$$Q = v A, \quad (4)$$

jossa Q = virtaama

A = putken poikkipinta-ala [4].

Suomessa käytetyt muoviputket olivat aluksi sileitä. Ne mitoitettiin samalla nomogrammilla kuin tiiliputket, koska vedenjohtokyky kummillakin putkella oli lähes sama. Korrugoitujen muoviputkien käytön yleistyttyä on niiden vedenjohtokyky arvioitu 15 - 20 % huonommaksi kuin tiiliputkien tarkempien tutkimustulosten puutteessa. Mitoitus suoritetaan tällä hetkellä siten, että valumaa suurennetaan 15 - 20 % ja putkikoko määrätään kuvan 1 osoittamalla nomogrammilla.

3 NESTEEN VIRTAUS PUTKESSA

3.1 Bernoullin yhtälö

Virtausta kuvataan yleensä energiayhtälön avulla. Todellisen eli kitkallisen nesteen, kuten esim. veden virratessa putkessa muuttuu kineettistä energiaa muiksi energiamuodoiksi. Mikäli putken poikkileikkaus muuttuu tai virtauksen tiellä on esteitä, aiheutuu näistä niinkään hydraulisen energian vähenemistä.

Virtauksen ollessa tasaista ja nesteen kokoonpuristumatonta kuvaa Bernoullin yhtälö (5) virtausta kahden pisteen välillä (kuva 2).

$$\frac{v_1^2}{2g} + y_1 + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + y_2 + \frac{p_2}{\gamma} + h_f, \quad (5)$$

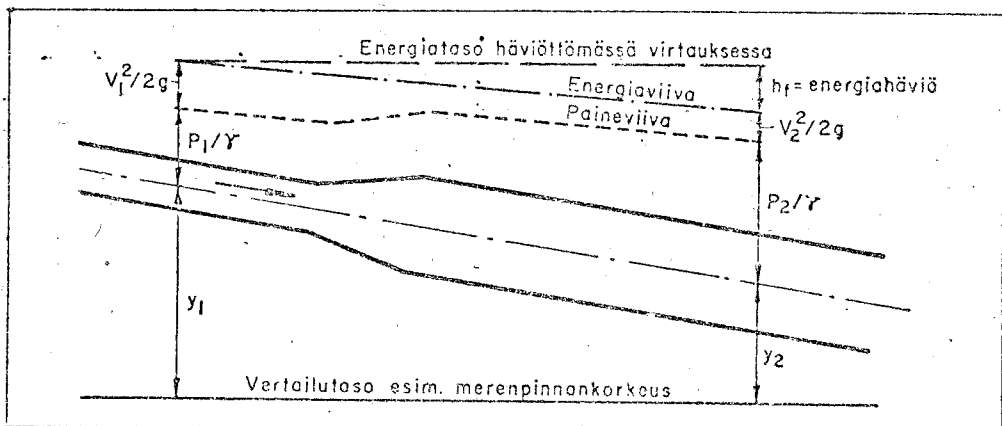
jossa $\frac{v^2}{2g}$ = nopeuskorkeus

y = asemakorkeus

$\frac{p}{\gamma}$ = painekorkeus

h_f = energiahäviö välillä 1 - 2.

Virtaus voi olla joko laminaarista tai turbulenttista. Luonnetta kuvataan Reynoldsin luvulla (Re),



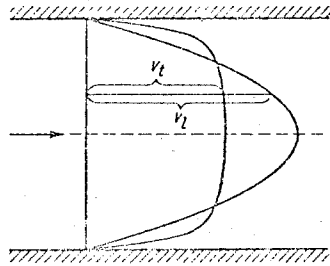
Kuva 2. Bernoullin yhtälö kitkalliselle nesteelle [4].

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (6)$$

jossa ν = nesteen kinemaattinen viskositeetti.

Virtaus on laminaarista, kun Re-luku on pienempi kuin 2300. Korkeilla Re-luvuilla virtaus on turbulenti. Näiden alueiden välillä on siirtymäalue, jossa kumpi tahansa virtausmuoto voi esiintyä, sillä vähäisemmätkin häiriöt muuttavat laminaarivirtauksen turbulenteiksi.

Vedennopeus putken poikkileikkauksessa jakautuu siten, että nopeus putken seinämien läheisyydessä on nolla ja maksimissaan putken akselilla (kuva 3). Maksiminopeuden suuruus riippuu siitä, onko kyseessä laminaarinen vai turbulenti virtaus. Laminaarivirtauksessa $v_{\max} = 2 v_{\text{kesk}}$ ja turbulenssivirtauksessa $v_{\max} = 1.4 v_{\text{kesk}}$ [4]. Laskelmissa käytetään yleensä keskimääräistä nopeutta.



Kuva 3. Nopeuden jakautuminen putkessa [5].

3.2 Energiahäviö

3.2.1 Kitkahäviö

Nesteen ja putken välisestä kitkasta aiheutuva kitkahäviö laskeetaan tavallisesti Darcy-Weisbachin kaavalla (7)

$$h_k = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (7)$$

jossa h_k = kitkahäviö välillä 1 - 2

f = kitkahäviökerroin

L = välin 1 - 2 pituus. [4]

Chezyn kaava (1) esitti myös kitkallisen nesteen virtausta, jossa kerroin c pyrkii kuvaamaan kitkasta aiheutuvaa nopeuden vähene- mistä. Yhdistämällä kaavat (1) ja (7) saadaan selville kitkahäviö- kertoimen ja Chezyn kertoimen välinen yhteys (8)

$$f = \frac{8g}{c^2}, \quad (8)$$

Chezyn kaava antaa erinomaisia tuloksia, kun virtaus on selvästi turbulenttista. Sen sijaan pienillä Re -luvuilla eivät tulokset ole yhtä hyviä. [6]

Putkivirtauksen laskemiseen käytetään usein myös Manningin kaa- vaa (9)

$$v = M R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

jossa M = Manningin kerroin.

Kitkahäviökertoimen ja Manningin kertoimen välinen yhteys on

$$M = \sqrt{\frac{8g}{f R^{1/3}}}, \quad (10)$$

Samoin kuin Chezyn yhtälöllä, saadaan kaavalla (10) tarkkoja tuloksia ainoastaan suurilla Re -luvuilla [4].

Kitkahäviökertoimen f suuruus riippuu sekä Re -luvusta että put- ken suhteellisesta karkeudesta k/d . Nikuradse tutki kitkakerrointa

karkeuttamalla putket keinotekoisesti tasarakeisella hiekalla ja ottamalla sitten k-arvoksi hiekkajyväsien halkaisijan. Moody puolestaan tutki luonnollista karkeutta ja esitti tulokset kuvan 4 osoittaman käyrästä muodossa [ref. 6]. Luonnollinen karkeus on säännöttömämpää kuin keinotekoisesti aikaansaatu karkeus ja siihen kuuluu myös seinämän aaltoilu [8].

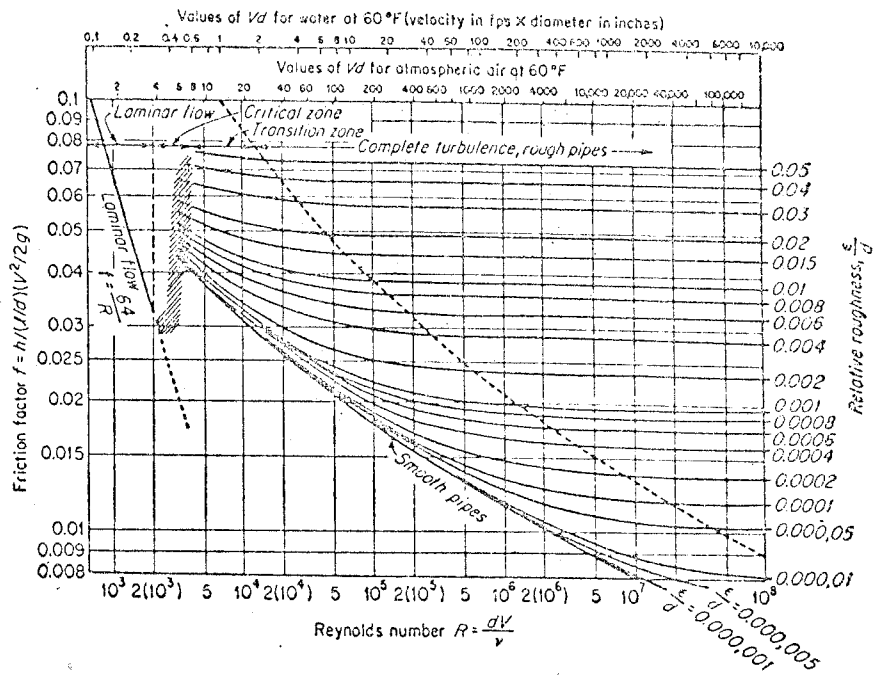
Virtauksen ollessa laminaarista on voimassa

$$f = \frac{64}{Re} \quad (11)$$

Re- luvun ollessa suurempi kuin 2300, jakautuu virtaus kolmeen päätyyppiin:

1. Virtaus hydraulisesti sileällä alueella
2. Virtaus siirtymäalueella
3. Virtaus hydraulisesti karkealla alueella.

Alueella 1 riippuu f :n suuruus ainoastaan Re-luvusta. Siirtymäalueella vaikuttavat sekä Re että k/d kitkahäviökertoimeen. Hydraulisesti karkealla alueella aiheuttaa kitkaa vain suhteellinen karkeus k/d . Syynä tähän ilmiöön on Prandtlin teorian mukaan se, että seinämän läheisyydessä on laminaarinen virtauskerros. Kerros on sitä paksumpi, mitä pienempi Re-luku on ja ohenee Re-luvun kasvaessa. Kun Re-luku on tarpeeksi pieni ja kerroksen paksuus tällöin verrattain suuri, jäävät seinämän karkeudet tämän laminaarikerroksen sisään, eivätkä siten vaikuta virtaukseen (alue 1). Hydraulisesti karkealla alueella putken karkeus rikkoo laminaarikerroksen ja aiheuttaa virtauksen turbulentsuuden [7]. Nämä eri virtausalueet näkyvät myös kuvassa 4.



Kuva 4. Kitkahäviökerroin f Re -luvun ja putken suhteellisen karkeuden k/d funktiona [6].

3.2.2 Paikallishäviöt

Tavallisesti energiahäviö ei aiheudu ainoastaan kitkasta vaan putkessa syntyy myös paikallisia häviöitä. Tällaisia ovat supistumis- ja laajentumishäviöt, kaarrehäviöt, nielu- ja purkautumishäviöt, venttiileistä ja välpistä ym. aiheutuvat häviöt sekä haarautumishäviöt.

Paikallishäviön suuruus lasketaan kaavalla (12)

$$h_p = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

Kertoimen ζ suuruus riippuu siitä, mikä paikallishäviötä aiheuttava tapaus on kyseessä [4].

3.3 Teorian soveltaminen salaojaputkissa tapahtuvaan virtaukseen

3.3.1 Virtaus tiiliputkissa

Veden virtaus tiilisalaojaputkissa noudattelee periaatteessa samoja lakeja kuin yleensä putkivirtauksessa. Putkessa tapahtuva kitkahäviö lasketaan tavallisesti kaavan (7) avulla. Kitkahäviökerroin määritetään kokeellisesti. Eksponentiaaliyhtälöistä tavallisin on

$$Q = K d^m I^n, \quad (13)$$

jossa Q = virtaama

K , m , n ovat vakioita.

Kaava (13) on johdettu Manningin kaavasta (9). Vakioden arvot määritetään kokeellisesti siten, että kaava mahdollisimman hyvin edustaa saatuja mittaustuloksia.

Soveltamalla Bernoullin yhtälöä (5) ja kaavoja (7) ja (12) saadaan energiahäviöksi

$$h_f = f \frac{l}{d} \frac{v_s^2}{2g} + \zeta_k \frac{v_s^2}{2g}, \quad (14)$$

jossa l = yhden putken pituus

v_s = vedennopeus epäsäännöllisyyksiä sisältävässä putkessa

ζ_k = halkaisijan muutoksista ja poikkeamista aiheutuva häviökerroin

Ratkaisemalla v_s tästä yhtälöstä saadaan

$$v_s = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{d}{fl} \zeta_k}} \sqrt{\frac{2g}{f} d \frac{h_f}{l}} = sv_t \quad (15)$$

v_t :llä tarkoitetaan tässä nopeutta vastaavassa putkessa, josta saumojen aiheuttamat häiriöt puuttuvat. Korjaustermi s on siis

$$s = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{d}{fl} \zeta_k}} \quad (16)$$

Tiiliputkista tehdyssä johdossa on tavallista enemmän paikallishäviöitä aiheuttavia epäjatkuvuuskohtia. Putket ovat tavallisesti 33 cm pitkiä. Polttamisesta johtuen putkien halkaisijat ovat harvoin täsmälleen yhtä suuria. Lisäksi poikkileikkauskuvio on enemmän tai vähemmän soikea. Näistä seuraa, että putkilinja ei koskaan ole täysin homogeeninen. Saumojen kohdalla syntyy virtaukseen jatkuvasti laajentumis- ja supistumishäviöitä. Yhdessä saumassa häviön suuruus on pieni, mutta kun saumoja voi johdossa olla satoja, on tälläkin seikalla merkitystä putken vedenjohtokykyyn.

Laajentumishäviö lasketaan kaavalla (17)

$$h_1 = \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right)^2 \frac{v_1^2}{2g} \quad (17)$$

ja supistumishäviö kaavalla (18)

$$h_s = \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^x - 1 \right]^2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (18)$$

joissa A_1 = poikkileikkauksen pinta-ala putkessa, jolla on suurempi halkaisija

A_2 = poikkileikkauksen pinta-ala putkessa, jolla on pienempi halkaisija

v_1, v_2 = vedennopeudet vastaavissa putkissa

Halkaisijan muuttumisesta aiheutuva häviökerroin ζ_r on siten

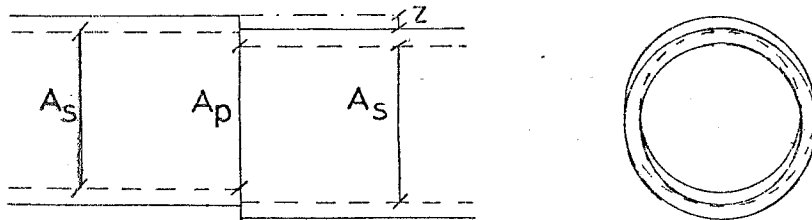
$$\zeta_r = \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right)^2 \quad (19)$$

Nopeuden korjaustermi s_r saa tällöin muodon (20) putkijohdossa, jossa on n saumaa.

$$s_r = \sqrt{1 + \frac{d}{fl} \frac{1}{\sum_{k=1}^n (\zeta_r)_k}}, \quad (20)$$

jossa $(\zeta_r)_k$ on häviökerroin k :nnessa saumassa

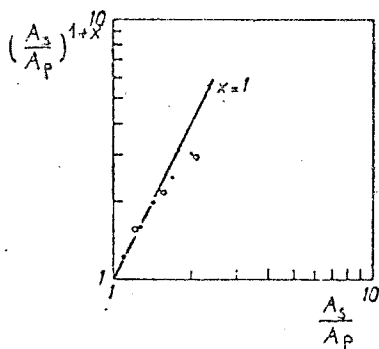
Suuruudeltaan huomattavasti merkittävämpi häiriötekijä tiiliputkijohdossa on putkien poikkeama linjasta (kuva 5.) Poikkeaman suuruus riippuu putkien asennuksesta ja asennuksen jälkeisistä maaperän liikkeistä. Myös putkien käyryys aiheuttaa poikkeamia. Näistä siirtymistä syntyy virtaukseen niinikään äkillisiä supistumis- ja laajentumishäviöitä. Vedenjohtokyky voi huonon linjauksen vuoksi vähentyä jopa 10 % kunnolliseen linjaukseen verrattuna [9].



Kuva 5. Tiiliputkien poikkeaminen linjasta [9].

Kaavoista (17) ja (18) seuraa että poikkeamasta z (kuva 5) aiheutuva häviö on

$$h_n = \left[\left(\frac{A_s}{A_p} \right)^{1+x} - 1 \right]^2 \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$



Kuva 6. $(\frac{A_s}{A_p})^{1+x}$:n ja $(\frac{A_s}{A_p})$:n suhde laskettuna Weisbachin (·) ja Von Misenin (◊) havainnoista [9].

x :n arvo on määritetty Weisbachin ja Von Misenin havaintojen avulla (kuva 6). Kun $1.0 < \frac{A_s}{A_p} < 1.4$, voidaan x :n arvoksi ottaa 1. Merkittävää virhettä ei myöskään tehdä, jos v_1 :n ja v_2 :n paikalle sijoitetaan niiden keskiarvo. Kuvasta 5 nähdään, että

$$\frac{A_s}{A_p} \approx \frac{\frac{1}{4} \pi d^2}{\frac{1}{4} \pi d^2 - z d} = \frac{1}{1 - \frac{4z}{\pi d}}, \quad (22)$$

joten poikkeamasta z aiheutuva häviökerroin ζ_n on

$$\zeta_n = \left[\left(\frac{1}{1 - \frac{4z}{\pi d}} \right)^2 - 1 \right]^2 \quad (23)$$

Nopeuden korjaustermi s_n saa siten muodon (24) n saumaa käsittevässä johdossa.

$$s_n = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{d}{fl} \frac{\sum_{k=1}^n 1(\zeta_n)_k}{n}}}, \quad (24)$$

jossa $(\zeta_n)_k$ on häviökerroin k :nnessä saumassa. [9]

Edellä esitettyjen seikkojen lisäksi aiheuttaa tiiliputkilinjassa paikallishäviöitä ns. raaste. Raasteella tarkoitetaan tiiliputkien leikkauskohtaan valmistusvaiheessa syntyvää n. 1 mm:n suuruis- ta kynnystä.

3.3.2 Virtaus korrugoiduissa muoviputkissa

Veden virtaukseen aallotetuissa muoviputkissa voidaan soveltaa niinikään Bernoullin yhtälöä (5) ja yleistä kitkahäviökaavaa (7). Myös eksponentiaaliyhtälöä (13) on usein käytetty virtauksen kuvaamiseen. Kuten tiiliputkillakin, määritetään kitkahäviökertoimen sekä vakioiden arvot kokeellisesti.

Vastaavanlaisia paikallishäviöitä kuin tiiliputkilinjassa ei muoviputkijohdossa synny yhtä useasti. Saumojen lukumäärä on huomattavasti pienempi kuin tiiliputkijohdossa, sillä muoviputket toimitetaan tavallisesti 50 - 200 m:n kiepeissä putkikoosta riippuen. Putkien poikkileikkauksissa ei yleensä ole merkittäviä vaihteluita, jotka johtuisivat valmistuksesta. Sen sijaan maassa putket joutuvat maan ja työkoneiden kuormitukselle alttiiksi ja painuvat tapauksesta riippuen enemmän tai vähemmän kasaan. Poikkileikkauksuvion muoto muuttuu tällöin, mutta muutos ei ole yhtä äkillinen kuin tiiliputkillalla. Paikallishäviöitä aiheuttavia kohtia on muoviputkilinjassa siis vähemmän kuin tiiliputkilinjassa. Korrugoinnin johdosta kitkahäviö on muoviputkilla kuitenkin suurempi kuin tiiliputkeilla [7, 8].

Reikien kautta sisään virtaava vesi ei merkittävästi vaikuta putken vedenjohtokykyyn [7].

4 MALLIKOKEIDEN KÄYTTÖ SALAOJAPUTKIEN VEDENJOHTOKYKYÄ KOSKEVISSA TUTKIMUKSISSA

4.1 Mallikokeiden tarkoitus

Laboratoriossa tehdyillä mallikokeilla on pyritty selvittämään erilaisten salaojaputkien maksimikyky johtaa vettä. Kokeissa putket ovat täynnä vettä, sillä veden virtauksella vajaassa putkessa ei ole ratkaisevaa merkitystä putkia mitoitettaessa. Tällä tavoin saadaan selvitettyä lähinnä vain putken ominaisuudet ihanteellisimmissa olosuhteissa. Luonnossa putken kuljetuskykyä pienentää ajan myötä tapahtuva putkien liettyminen. Maastossa putkessa esiintyy myös enemmän mutkia, liittymiä yms. jotka vähentävät vedenjohtokykyä. Mallikokeiden avulla selvitetään siis putken kitkahäviökerroin (kaava (7)) tai kaavassa (13) esiintyvien vakioiden arvot.

Tiiliputkilla tehdyillä virtauskokeilla on haluttu selvittää saumojen kitkahäviötä lisäävä vaikutus. Poikkeamien ja halkaisijan vaihteluiden vaikutus on tavallisimmin sisällytetty kitkahäviökertoimeen eikä niitä ole otettu erikseen huomioon.

Viime aikoina on hydraulisia kokeita tehty markkinoille tulleiden uusimpien putkimateriaalien vedenjohtokyvyn määrittämiseksi. Kiinnostus on kohdistunut etupäässä korrugoituihin muoviputkiin, joiden virtausvastus on laskennallisesti ollut vaikeasti arvioitavissa.

Seuraavassa esitetään yhteenvedonomaaisesti muutaman tyyppillisen muoviputkilla tehdyn mallikokeen kulku ja tulokset. Lisäksi on mukaan otettu kaksi kokeiden suorittamiseksi laadittua kansainvälistä ohjetta. Lopuksi luetellaan vielä Erikssonin [7, 8] kokoomat tulokset ennen yllämainittuja mallikokeita tehdyistä tutkimuksista.

4.2 Yhteenveto hydraulisten kokeiden suorittamista varten laadituista ohjeista ja suoritetuista mallikokeista

4.2.1 Tutkimukset ja ohjeet

Erityyppisten muoviputkien vedenjohtokykyä ovat tutkineet v. 1965 Brink ja Nilsson Ruotsissa [10], v. 1970 Hermsmeier ja Willardson USA:ssa [11] ja v. 1973 Dennis Englannissa [12]. Niinikään v. 1973 toteutettiin Saksassa Darmstadin Teknillisessä korkeakoulussa hydraulinen koe korrugoidun muoviputken virtausvastuksen määrittämiseksi [13].

Koska kokeita joudutaan jatkuvasti tekemään eri puolilla maailmaa, on tutkimusten vertailukelpoisuuden parantamiseksi laadittu muutamia kansainvälisiä ohjeita kokeiden suorittamista varten. Tanskalainen prof. Dahl on v. 1976 laatinut tällaiset ohjeet Tanskan Standardoimisneuvoston kehoituksesta [14]. Vuodelta 1976 ovat myös ISO:n ohjeet [15].

Eriksson on ennen edellä mainittuja kokeita tehtyjen tutkimusten valossa vertaillut muovi- ja tiiliputkille saatuja kitkahäviökertoimien arvoja sekä kaavassa (13) olevien vakioiden arvoja [7, 8].

4.2.2 Koeperiaatteet

Kaikissa em. tutkimuksissa ja ohjeissa käytettiin samaa koeperiaatetta. Virtausvastus määrättiin vettä täynnä virtaavasta putkesta mittaamalla putkessa tapahtuva painehäviö eri vedennopeuksilla. Nopeuksien tuli vastata salaojissa käytettäviä kaltevuuksia 0.1 - 5 %. Putken reiät oli joko tiivistetty tai putki valmistettu reiättömänä. Vedennopeutta seurattiin virtaaman mittauksella, joka suoritettiin pienillä virtaamilla rotametreillä ja suuremmilla kolmiopadon avulla. Paineen mittaaminen tapahtui yksinkertaisilla lasimänometreillä tai pienempien häviöiden ollessa kyseessä tarkemmilla

laitteilla. Tehdyissä kokeissa vettä kierrätettiin järjestelmässä ja veden lämpötila pyrittiin pitämään vakiona. Vesi johdettiin putkeen yläsäiliöstä ja tutkittavasta putkesta se virtasi ala-altaaseen, josta se otettiin uudelleen käyttöön. Hydraulinen gradientti pidettiin kunkin virtausnopeuden aikana samana joko ylä- tai ala-altaassa olevan kiinteän ylisyöksypadon ja toisessa altaassa säädeltävissä olevan vedenpinnankorkeuden avulla. Tulokset esitettiin joko niin, että piirrettiin kitkahäviökerroin Re -luvun funktiona tai energia-
viivan kaltevuus virtaaman funktiona.

4.2.3 Koeputket

Brink ja Nilsson [10] sekä Dennis [12] suorittivat kokeet sekä sileillä että korrugoiduilla muoviputkilla. Muissa mallikokeissa käytettiin ainoastaan jälkimmäisiä. Laadittuja ohjeita voidaan soveltaa kaikille putkilaaduille.

Kokeissa käytettyjen putkien halkaisijat vaihtelivat riippuen maasta, jossa koe tehtiin sekä putkien valmistajasta. Saksassa tehtiin koe ainoastaan yhdellä putkikoolla, jonka keskimääräinen halkaisija oli 100.5 mm. Brink ja Nilsson käyttivät viittä putkea. Sisähalkaisijat olivat 38.0, 45.0, 58.9, 72.8 ja 91.8 mm. Englannissa suoritettiin kokeet neljällä putkikoolla, joista pienin oli sisähalkaisijaltaan 44.9 mm ja suurin 101.5 mm. Hermsmeier ja Willardson tutkivat seitsemän putkikoon hydrauliset ominaisuudet. Pienin putkikoko oli 35.6 mm ja suurin 101.6 mm.

Suuria eroavaisuuksia oli myös tutkittavan putkiosuuden pituudessa. Lyhyin tämä oli Dennisin kokeessa, 4.5 m ja pisin USA:ssa, 30.5 m. Poikkeuksetta käytettiin putkessa erillistä tulo-osuutta, joka oli tarpeen täysin kehittyneen nopeusprofiilin saavuttamiseksi. Sen pituus vaihteli yhdestä metrillä viiteen metriin. Dahlin mukaan tulee tutkittavan putkiosuuden pituuden olla vähintään 200 kertaa niin suuri kuin halkaisija ja tulo-osuuden 50 kertaa halkaisija. Täten putken koko pituus olisi vähintään 250 kertaa halkaisija.

Hydraulisesti vaikuttavaa karkeuden määrittämiseksi mitattiin painehäviö vettä täynnä virtaavissa putkissa. Tällöin tulee putkissa olevien reikien olla suljettuja. Tämä oli ratkaistu joko niin, että käytettiin rei'ittämättömänä toimitettuja putkia tai reiät tiivistettiin ulkoapäin vesitiiviillä teipillä.

4.2.4 Laitteisto

Kokeissa käytetty vesi otettiin laboratorion yläsäiliöstä, jonne se pumpattiin alasäiliöstä. Yläsäiliö oli varustettu erityyppisillä suodattimilla tai ylisyöksyreunoilla vedenpinnan vakiokorkeudella pitämiseksi ja pumpatessa syntyvän turbulenssin tasaamiseksi. Yläsäiliön jälkeen vesi joko johdettiin erillisen tasausaltaan kautta tai suoraan erilaisten liitososien avulla tutkittavaan putkeen. Vedennopeutta putkessa säädeltiin periaatteessa kahdella eri tavalla. Kun vesi johdettiin tasausaltaan kautta, muutettiin vedennopeutta säätelemällä tasausaltaan korkeutta. Toisessa tapauksessa säätimenä toimi venttiili.

Tutkittavasta putkesta vesi johdettiin ala-altaan kautta laboratorion alasäiliöön. Ala-altaalla tarkoitetaan tässä allasta, johon tutkittava putki päättyi. Tämä oli joko mittapato tai vedenpinnan vakiokorkeudella pitämiseksi ylisyöksyreunalla varustettu allas.

Putkessa aikayksikössä virtaavan vesimäärän mittaamiseksi oli käytetty lähinnä kahta erilaista menetelmää. Pienillä virtaamilla käytettiin mm. Dennisin kokeessa rotametrisarjaa, joka kattoi virtaamat 0.01 - 6.0 l/s. Yleensä virtaama mitattiin kolmiopatomittauksella. Mittaus tapahtui joko tasausaltaan jälkeen, ennen kuin vesi johdettiin putkeen tai sitten ala-altaan yhteydessä. Rotametrit oli sijoitettu ennen putkea. ISO:n menetelmän mukaan virtaaman mittaus voi tapahtua myös massan määrittämiseen perustuvilla menetelmillä.

Putkessa tapahtuva painehäviö mitattiin joko yksinkertaisilla manometreillä siten, että veden annettiin läpinäkyvien letkujen avulla nousta halkaisijaltaan samansuuruisiin, asteikolla varustettuihin avoimiin lasiputkiin. Tutkittavalla pituudella tapahtuvien painehäviöiden ollessa alle 10 mm, käytettiin mittaustarkkuudeltaan tarkempia laitteita, mikropistemittareita (micrometer point gauges). Darmstadissa tehdyssä kokeessa paine mitattiin Pitot'n putkilla, jotka asetettiin kiinteästi mittauskohtaan.

Hermsmeier ja Willardson mittasivat paineen aincastaan ylä- ja ala-altaasta. Täten saatua paine-eroa korjattiin sisääntulo- ja purkaushäviöillä putkessa tapahtuvan häviön selvittämiseksi. Brink ja Nilsson mittasivat paineen kolmessa putken kohdassa, jotka olivat 5 m:n etäisyydellä toisistaan. Dennis taas käytti neljää painemittausta 1.5 m:n etäisyydellä. Dahlin mukaan tulee paine mitata 10:stä eri kohdasta.

Paineenmittauspääät tulee ISO:n menetelmän mukaan kiinnittää siten, että niistä ei aiheudu ylimääräistä vastusta. Kukin painemittari tulee olla asennettu samalla tavalla korrugointiin nähden.

Lämpötila mitattiin kaikissa kokeissa. Saksassa tehdyssä kokeessa kerrottiin mittarin olleen kalibroitu elohopealämpömittari, muissa julkaisuissa ei mittarin laadusta ollut mainintaa.

Lämpömittari oli kokeissa asennettu joko ylä- tai ala-altaaseen tai molempiin lämpötilan vaihteluiden seuraamiseksi.

4.2.5 Kokeen suoritus

Tutkittava putki asetettiin vaakasuoralle alustalle tasaus- ja altaan väliin ja yhdistettiin niihin esim. kumisilla tiivisteillä. Dahl suosittelee, että putki asetettaisiin virtaussuuntaan hiukan koholleen sitä täytettäessä. Siten saataisiin ilma suurimmaksi

osaksi pois putkesta. Hermsmeier ja Willardson juoksuttivat vettä maksiminopeudella ennen varsinaisia mittauksia ilmakuplien poistamiseksi. Putken täytön jälkeen virtaus pysäytettiin ja paineenmittauspäät asetettiin paikoilleen. Virtaamaa nostettiin asteittain ja painehäviö luettiin kullakin virtausnopeudella. Edellä mainitussa kokeessa manometrilukemat ja niiden lisäksi virtaama- ja lämpötilalukemat otettiin myös pienenevillä virtausnopeuksilla. Dahlin mukaan käytettävien vedennopeuksien putkessa tulee kattaa ainakin väli 0.2 - 2.0 m/s.

Mittareiden lukemiset suoritettiin sen jälkeen, kun tasapaino oli saavutettu. Alhaisilla nopeuksilla tasapainon saavuttaminen kesti jopa 30 min, suuremmilla tarvittiin vähemmän aikaa. Virtauksen tasapainoon asettuminen riippui siitä, kuinka hyvin ilma saatiin täyttövaiheessa pois putkesta.

Kokeissa mitattiin virtaama, painehäviö ja lämpötila kullakin vedennopeudella. Niinikään oli määritettävä putken todellinen sisähalkaisija laskelmia varten.

Dahlin mukaan tulee paineenmittauspäiden väli mitata 1 %:n tarkkuudella. Virtausnopeus puolestaan tulee mitata 0.5 %:a suuremmalla tarkkuudella. Manometrien lukemat voidaan ottaa 1 mm:n tarkkuudella, jos paine-ero tutkittavan putken päiden välillä on suurempi kuin 0.8 - 1.0 m. Mikäli ero on pienempi tulisi käyttää katetometriä, jonka tarkkuus on 0.1 mm. Lämpötila tulisi mitata 0.1 °C:n tarkkuudella.

Lukematarkkuudet vaihtelivat tehdyissä kokeissa painemittarista riippuen 0.1 - 1 mm. Tarkkuusvaatimukset riippuivat myös tutkittavan putken pituudesta. Englannissa käytetyillä mikropistemittareilla päästiin jopa 0.02 mm:n luokkaa oleviin tarkkuuksiin.

4.2.6 Mittaustulosten käsittely

Useimmissa kokeissa ratkaistiin kitkahäviökerroin mittaustuloksista yleisen kitkahäviökaavan (7) avulla. Kerroin on siis

$$f = \frac{h_f}{L} \frac{2gd}{v^2} \quad (25)$$

Vedennopeus laskettiin virtaamasta jakamalla se putken poikkeileikkauksella (kaava (4)). Korrugoitujen putkien ollessa kyseessä käytettiin d :nä putken keskimääräistä pienintä sisähalkaisijaa. Darmstadissa tehdyssä kokeessa mitattiin putken keskimääräinen halkaisija tilavuusmäärityksen avulla. Kitkahäviökerroin esitettiin sitten Reynoldsin luvun funktiona piirtämällä niiden riippuvuus logaritmi-paperille. Koska Re -luku riippuu lämpötilasta, tulisi veden lämpötilan pysyä suhteellisen vakiona yhden putken mittauksen aikana.

Vedenjohtokyky voitiin myös esittää siten, että piirrettiin energiaviivan kaltevuuden riippuvuus virtaamasta niinkään logaritmi-paperille. Energiaviivan kaltevuudella tarkoitetaan tässä h_f/L .

USA:ssa tehdyssä kokeessa määritettiin mittaustuloksista $f:n$ ja Re -luvun lisäksi Manningin kerroin n . Tällä tarkoitetaan Manningin kaavassa (9) esiintyvän kertoimen M käänteislukua:

$$M = \frac{1}{n} \quad (26)$$

Kitkahäviökertoimen ja Re -luvun avulla ratkaistiin Saksassa tehdyssä tutkimuksessa lisäksi putken suhteellinen karkeus k/d kaavalla (27).

$$\frac{k}{d} = \frac{3.71}{10 \frac{1}{2\sqrt{f}}} - \frac{3.71}{Re} - \frac{2.51}{\sqrt{f}} \quad (27)$$

Brink ja Nilsson määrasivät mittaustuloksista tilastomatemattis-
sin menetelmin kaavassa (28) olevien vakioiden arvot. Kaavasta
(28) voidaan johtaa aiemmin esitelty kaava (13).

$$v = k R^p I^r, \quad (28)$$

jossa k , p , r ovat vakioita

Koska veden lämpötila eri koevaiheiden välillä saattaa vaihdella,
täytyy mittaustulokset korjata vastaamaan tiettyä lämpötilaa ver-
tailua varten. Tämä lämpötila voi olla esim. salaojissa virtaa-
van veden lämpötila, jolloin tulokset ovat paremmin käytäntöön
sovellettavissa. ISO:n menetelmän mukaan korjaaminen voidaan
tehdä siten, että lasketaan kaltevuus h_f/L sekä virtaama Q
 f - Re -käyrästä halutulla lämpötilalla.

4.2.7 Tulokset

Brink ja Nilsson sovelsivat mittaustuloksia kaavoihin (13) ja (28).
Korrugoiduilla muoviputkilla muodostuivat vakioiden arvot seuraav-
viksi:

$$\begin{aligned} K &= 24.2 \\ m &= 2.665 \\ n &= 0.493 \\ k &= 77.5 \\ p &= 0.665 \\ r &= n = 0.493. \end{aligned}$$

Vertailun vuoksi mainittakoon sileille, lovetuille muoviputkille
saadut vastaavat arvot:

$$\begin{aligned} K &= 58.1 \\ m &= 2.718 \\ n &= 0.570 \end{aligned}$$

$$k = 200.2$$

$$p = 0.718$$

$$r = n = 0.570$$

Hermsmeier ja Willardson laskivat mittauksista kitkakertoimen f sekä Manningin kertoimen n . sisähalkaisijaltaan 35.6 mm:n putkikoolla vaihteli kitkakertoimen arvo virtaamasta riippuen 0.1082:sta 0.0890:aan. Virtaama vaihteli tällöin 0.095 - 0.386 l/s. Suurimmalla, halkaisijaltaan 101.6 mm:n putkikoolla oli kitka-kerroin $f = 0.0745$, kun virtaama oli 0.946 l/s ja $f = 0.0547$, kun virtaama oli 2.524 l/s. Ensimmäisessä tapauksessa veden lämpötila oli 34°C ja jälkimmäisessä se vaihteli 19°C:sta 30°C:een. Taulukkoon 2 on koottu yllä mainittujen tutkijoiden suosittelemat arvot Manningin kertoimelle n .

Taulukko 2. Manningin kerroin n korrugoiduille muovisalaoja-putkille Hermsmeierin ja Willardsonin mukaan [11].

Todellinen halkaisija mm	Suosittelut Manningin kerroin n	Kaltevuus
35.6	0.018	kaikilla
44.5	0.018	kaikilla
50.8	0.017 0.016	0 - 0.001 > 0.001
63.5	0.017 0.016	0 - 0.001 > 0.001
72.1	0.016	kaikilla
76.2	0.017 0.016	0 - 0.001 > 0.001
101.6	0.016	kaikilla

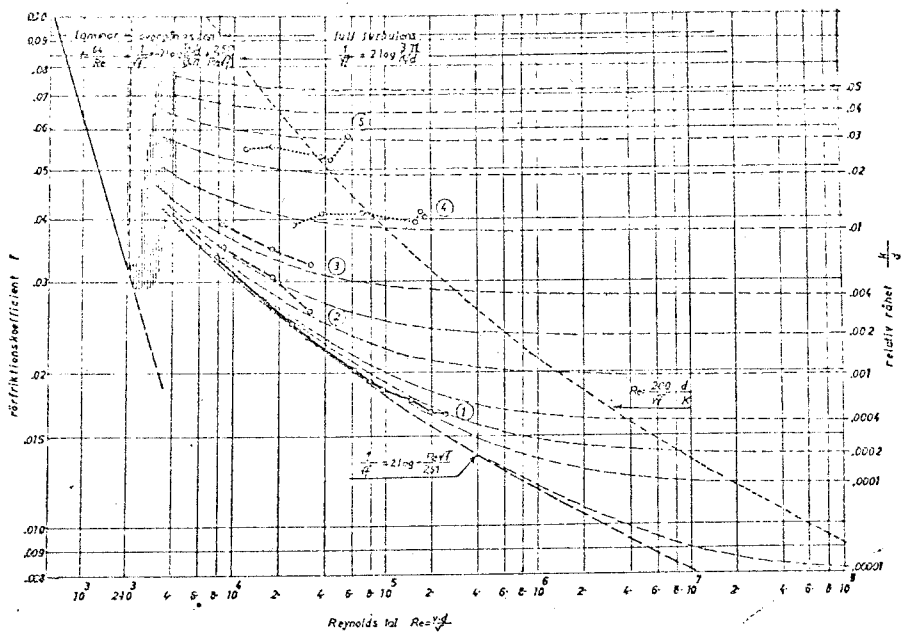
Dennisin mukaan korrugoiduille putkille on ominaista, että laminaarinen virtaus muuttuu turbulenttiseksi Re-luvun ollessa 4000 - 5000 eikä 2300, kuten tavanomaisessa putkivirtauksessa. Kitkakertoimeksi saatiin halkaisijaltaan 44.9 mm:n putkikoolla 0.059, kun Re-luku oli 10^4 ja 0.053, kun Re-luku oli 3×10^4 . Vastaa- vat f:n arvot 101,5 mm:n putkikoolla olivat 0.065 ja 0.050.

Darmstadissa tehdyssä kokeessa saatiin putken keskimääräiseksi suhteelliseksi karkeudeksi $k/d = 1.31 \times 10^{-3}$. Ekvivalentiksi kar- keudeksi saatiin siten $k = 0.132 \quad 0.017$ mm.

4.3 Tuloksia muista muovi- sekä tiilisalaojaputkille tehdyistä kokeista

Eriksson on koonnut yhteen salaojaputkille saatuja kitkahäviö- kertoimia ja eksponentiaaliyhtälön (13) muotoja [7, 8].

Virtaus salaojissa 50 - 100 mm:n putkissa tapahtuu yleensä sel- laisilla nopeuksilla, että Re-luku on pääasiassa 10 000 ja 100 000 välissä. Moodyn käyrästössä (kuva 4) tämä merkitsee siirtymä- aluetta. Brink ja Nilssonin mukaan virtaus sileillä muoviputkilla vastaa lähes virtausta hydraulisesti sileällä alueella. Sileälle halkaisijaltaan 51 mm:n tiiliputkelle sai Adolfsson kitkakertoimen arvoksi 0.034, kun Re-luku oli 10^4 ja 0.026, kun Re-luku oli 3×10^4 . Vastaavat arvot karhealle tiiliputkelle olivat 0.038 ja 0.032. Nämä arvot sijoittuvat siirtymäalueelle. Brink ja Nilsson saivat halkaisijaltaan 92 mm:n korrugoidulle muoviputkelle suh- teellisen vakiona pysyvän arvon 0.040, kun Re-luku oli alueella $3 \times 10^4 - 2 \times 10^5$. Halkaisijaltaan 45 mm:n putkikoolla kitka- kerroin oli puolestaan noin 0.055 Re-alueella $10^4 - 6 \times 10^4$. Putken suhteelliseksi karkeudeksi k/d sileällä tiiliputkella saatiin siten 0.002 ja karhealla tiiliputkella 0.005. Sileällä muoviputkella k/d oli pienempi kuin 0.0001. 45 mm:n korrugoidulla muoviput- kella saatiin k/d :n arvoksi 0.025 ja 92 mm:n putkella 0.012 [7]. Edellä esitetyt tulokset selviävät myös kuvasta 7.



Kuva 7. Salaojaputkien kitkakertoimen riippuvuus Re-luvusta:

1. 48 ja 86 mm:n sileä muoviputki (Brink ja Nilsson),
2. 51 mm:n sileä tiiliputki sekä 3. 51 mm:n karhea tiiliputki (Adolfsson), 4. 92 mm:n sekä 5. 45 mm:n korrugoitu muoviputki (Brink ja Nilsson) [7].

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty kaavassa (13) olevien vakioiden K , m ja n arvoja eri tutkijoiden mukaan. Taulukon 3 arvot ovat tiiliputkille ja taulukon 4 arvot korrugoiduille muoviputkille. Muutamissa tutkimuksissa tiiliputkille saadut arvot ovat erilaiset riippuen siitä, olisi asennus hyvin vai huonosti toteutettu [8].

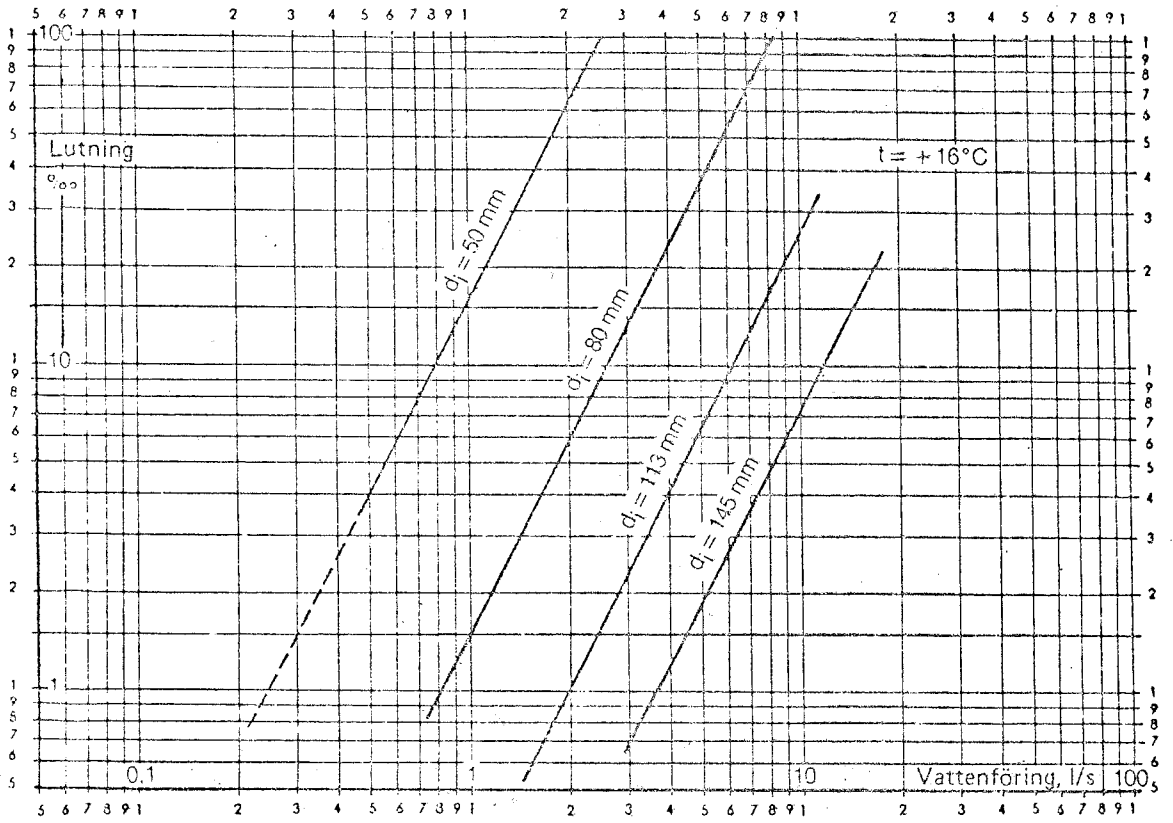
Taulukko 3. Kaavan $Q = K d^m I^n$ vakioiden K, m ja n arvot tiiliputkille eri tutkijoiden mukaan [8].

K	m	n	Asennus suoritettu	Tutkijat
54	2.714	0.572	hyvin	Wesseling-Homma 1967
55	2.714	0.572	hyvin	Blazhys 1965
47.5	2.714	0.572	huonosti	Blazhys 1965
45	2.714	0.571	-	Bretting 1960
43.4	2.672	0.55	-	Wisser 1937
55	2.718	0.570	-	Eriksson 1966
53.6	2.718	0.570	erittäin hyvin	Heyndrickx 1954
48.7	2.718	0.570	hyvin	Heyndrickx 1954
43.8	2.718	0.570	huonosti	Heyndrickx 1954
28.7	8/3	1/2	k = 0.6 mm	Uhden
24.3	8/3	1/2	k = 1.5 mm	Uhden
29.0	8/3	1/2	-	Yarnell-Woodvord 1920
21.8	8/3	1/2	-	DIN 1185

Taulukko 4. Kaavan $Q = K d^m I^n$ vakioiden K, m ja n arvot korrugoiduille muoviputkille eri tutkijoiden mukaan [8].

K	m	n	Tutkijat
24.2	2.665	0.493	Brink- Nilsson 1965
22.1	8/3	1/2	Wesseling-Homma 1967
18.7	8/3	1/2	van Beken 1966
20.4	2.601	0.503	Karge 1965
24.2	2.667	0.509	Larson VBB 1967

Tällä hetkellä markkinoilla oleville ruotsalaisille Lubonyl-salaojaputkille on saatu kuvan 8 esittämät riippuvuudet kaltevuudelle ja virtaamalle valmistajan oman ilmoituksen mukaan [16].



Kuva 8. Lubonyl-salaojaputkien vedenjohtokyky valmistajan oman ilmoituksen mukaan [16].

5 KOEJÄRJESTELYT TEKNILLISESSÄ KORKEAKOULUSSA

5.1 Kokeiden tarkoitus

Helsingin Teknillisen korkeakoulun vesirakennuslaboratoriossa toteutettiin talven ja kevään 1978 aikana koesarja salaojaputkien vedenjohtokyvyn selvittämiseksi. Tarkoituksena oli määrittää markkinoille tulleiden uusien korrugoitujen muovisalaojaputkien kitkakerroin f Re-luvun funktiona. Sama asia voidaan ilmaista myös energiaviivan kaltevuuden h_f/L ja virtaaman Q riippuvuutena. Mittaustulosten perusteella oli tarkoituksena laatia muoviputkille oma mitoitusnomogramminsa. Tiiliputket koestettiin samalla menetelmällä. Näin saatua tiiliputkien mitoitusnomogrammia verrattiin käytössä olevaan, Kutterin kaavalla laadittuun nomogrammiin (kuva 1). Laboratoriokokeiden antama vedenjohtokyky ei välttämättä vastaa putkien vedenkuljetuskapasiteettia luonnossa. Pellolla putket joutuvat ympäröivän maan vaikutuksille alttiiksi ja vedenjohtokyky voi olla huomattavastikin pienempi.

5.2 Koeperiaate

Tutkittavan putken reiät tai saumat tiivistettiin ja putki asetettiin vaakatasoon. Vettä juoksutettiin vakiopaineella putken läpi niin, että putki oli täynnä. Putkessa syntyvä painehäviö mitattiin sekä kasvavilla että vähenevillä vedennopeuksilla. Nopeuksia säädeltiin venttiilin avulla. Putken läpi virtaava vesimäärä mitattiin mittapadolla. Veden lämpötila mitattiin. Mittaukset suoritettiin venttiilin säädön jälkeen, kun vedenpinta mittapadossa oli asettunut paikoilleen.

5.3 Putkimateriaalit

5.3.1 Putkien valmistajat

Painehäviömittaukset suoritettiin sekä muovi- että tiiliputkilla käyttäen samaa koemenetelmää. Muoviputket olivat korrugoituja

Veto-salaojaputkia. Halkaisijaltaan 100 mm:n putken valmistaja oli Finlayson Oy. Muut putkikoot olivat Nokia Oy:n tekemiä. Tiiliputkien valmistaja oli Paloheimo Yhtymä. Koemenetelmän vertailukelpoisuus ruotsalaisiin tutkimuksiin testattiin kahdella Lubonyl-salaojaputkikoolla. Kaikki tutkitut putkikoot on esitelty kuvassa 9.

Tiiliputkien valinnassa kiinnitettiin erityistä huomiota siihen, että kokeissa tutkittiin laadultaan keskinkertaisia putkia. Siksi tiiliputket valittiin tutkijoiden toimesta täysin satunnaisesti Paloheimo Yhtymän ulkovarastosta.

5.3.2 Putkien koot ja muodot

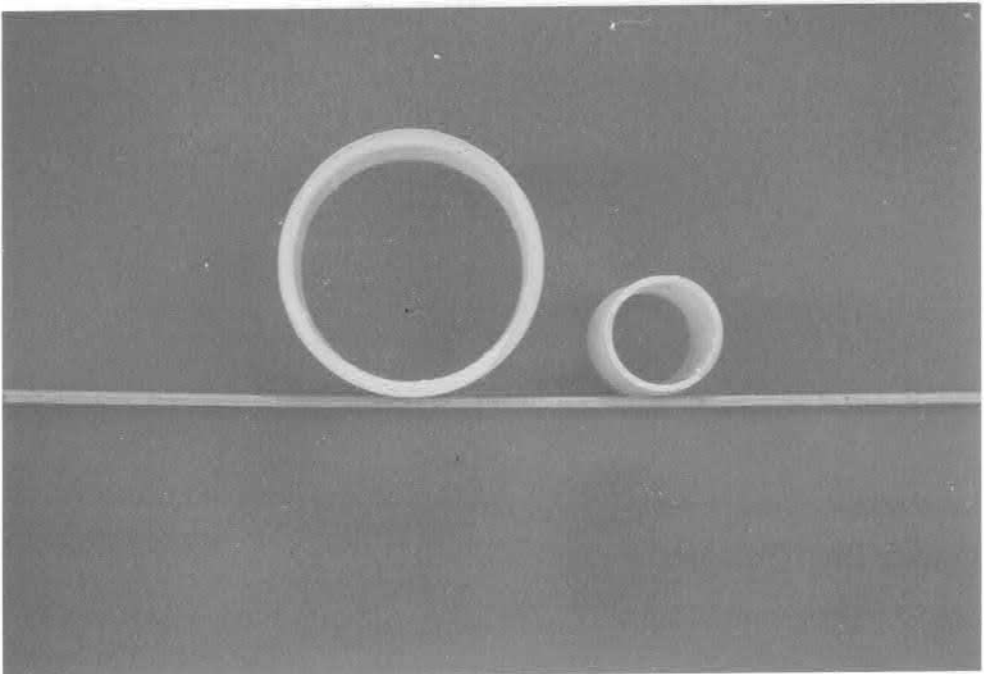
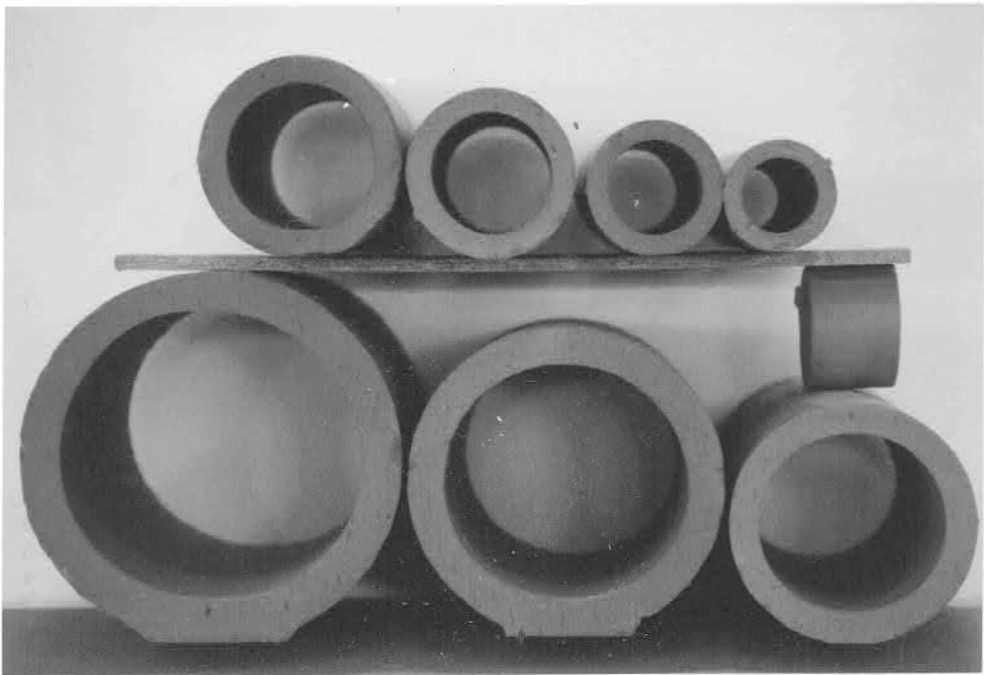
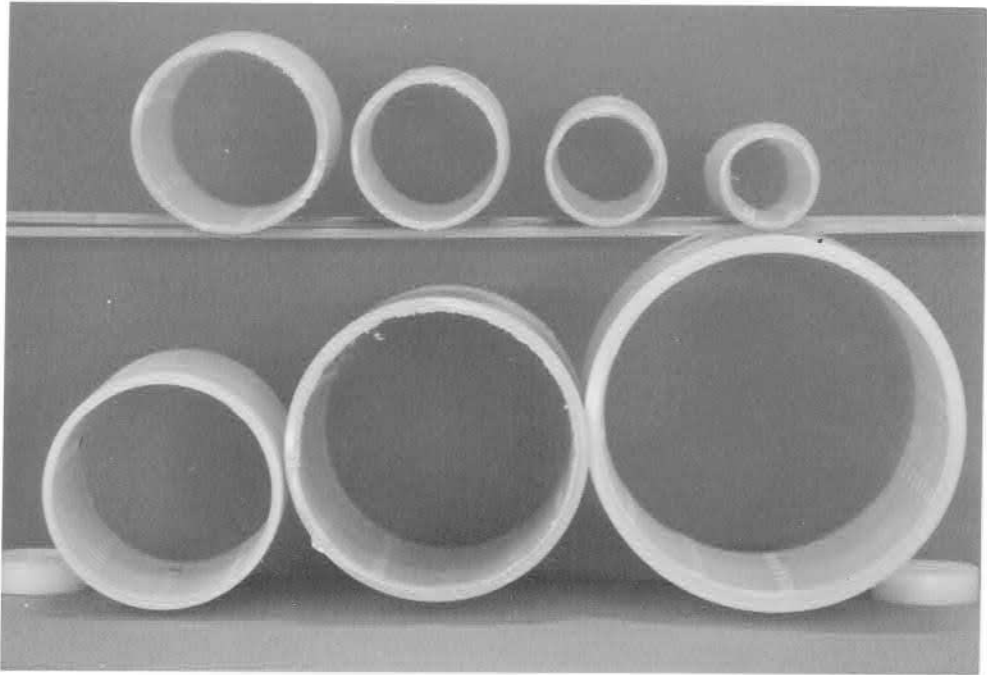
Varsinaiset mittaukset suoritettiin sekä muovi- että tiiliputkilla seitsemällä tavallisimmalla putkikoolla. Nimellishalkaisijat käyvät ilmi taulukosta 5. Koot olivat samat kummallakin putkimateriaalilla.

Taulukko 5. Tutkittujen putkien nimellishalkaisijat.

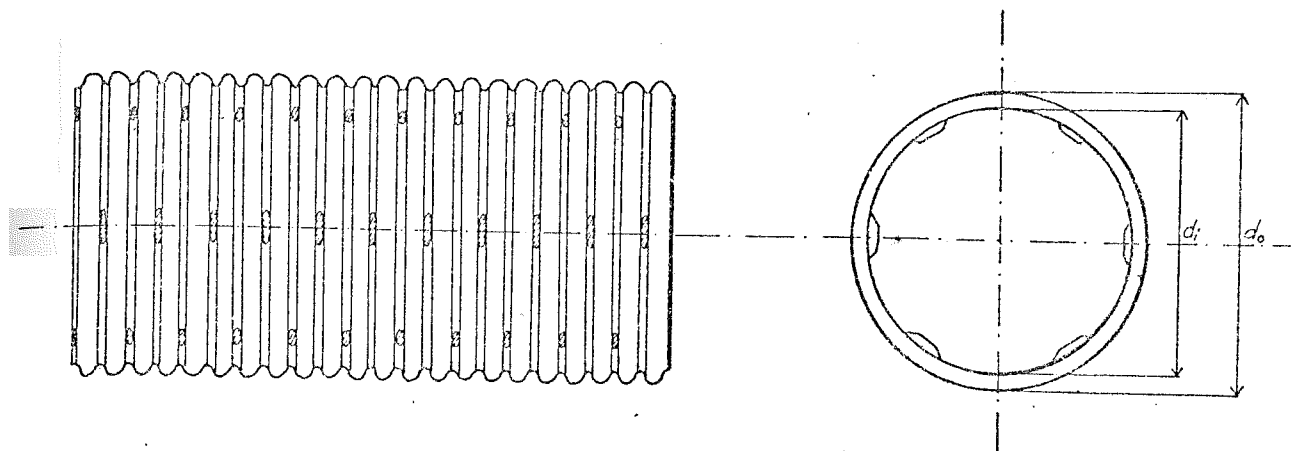
d mm
40
50
65
80
100
130
160

Ruotsalaisten Lubonyl-salaojaputkien halkaisijat olivat 50 ja 113 mm.

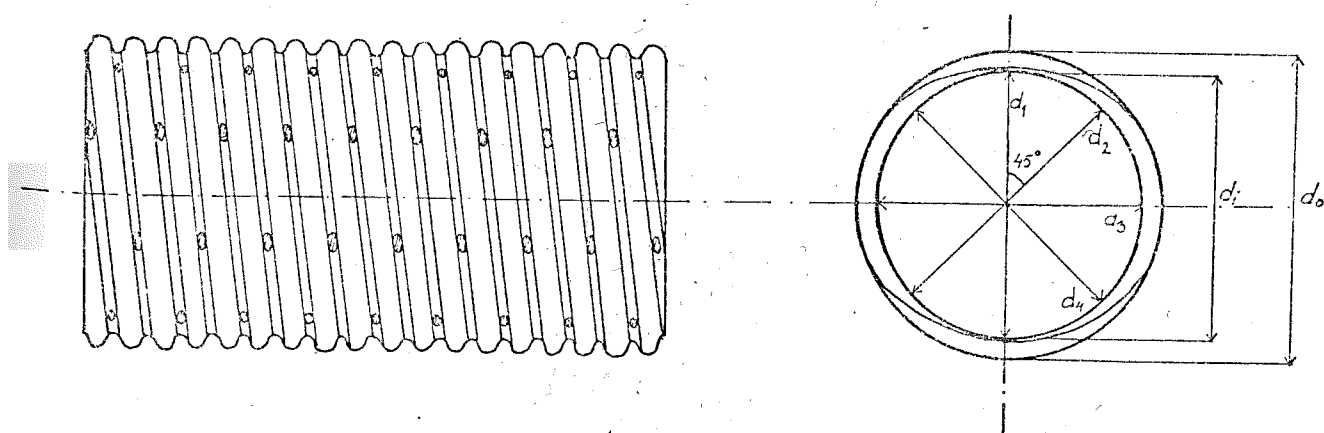
Korrugoitujen muoviputkien muoto selviää kuvasta 10. Kuva 10 a esittää reiätöntä, nystyrällistä kotimaista putkea. Normaalista



Kuva 9 Tutkitut putkikoot



a. Reiättömänä nystyrällinen Veto-salaojaputki



b. Lubonyl-salaojaputki

Kuva 10. Muovisalaojaputkien tyypit

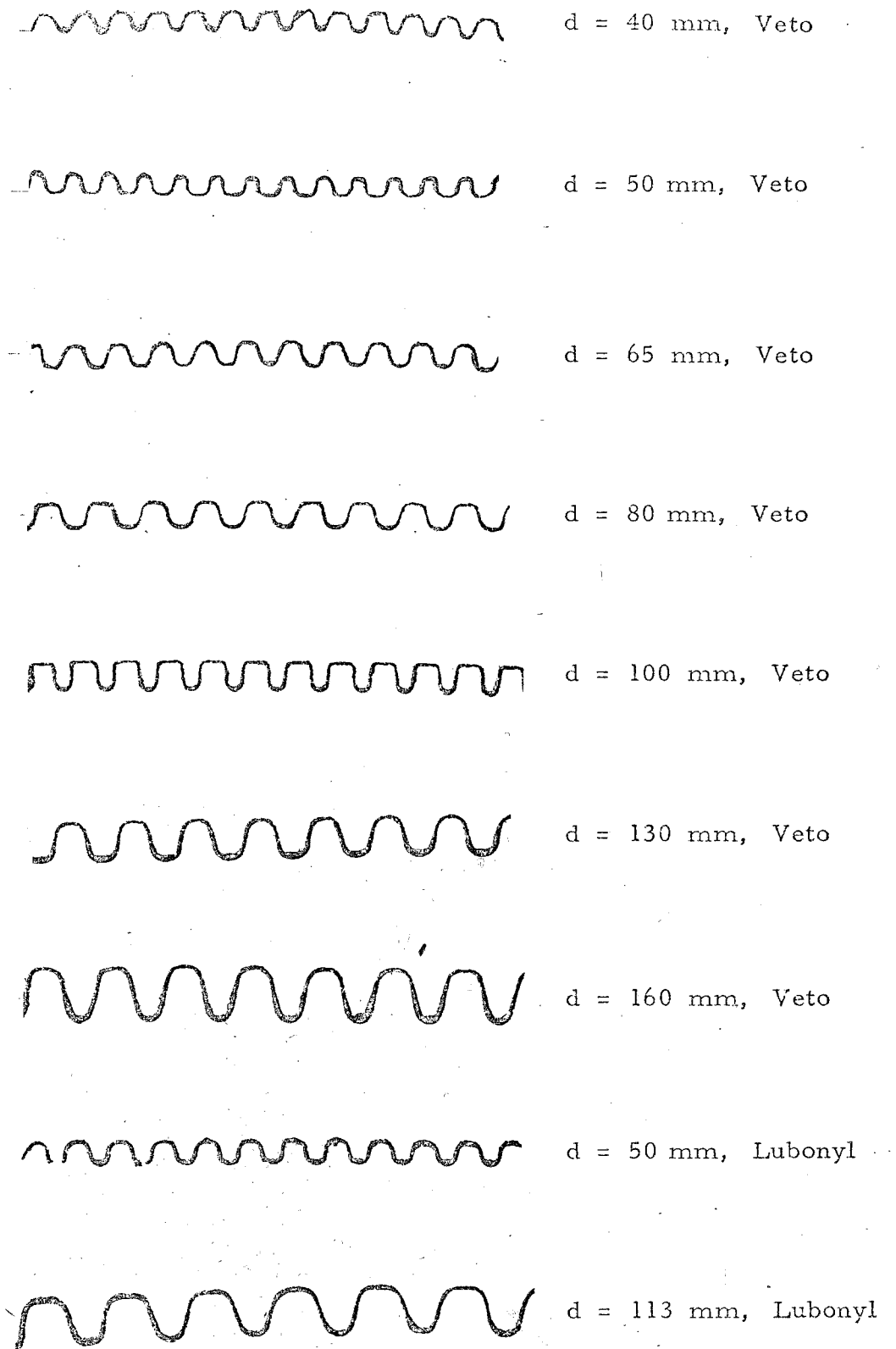
putkesta puuttuvat nystyrät, joiden paikalle reiät sijoittuvat. Kotimaisissa putkissa korrugointi oli rengasmainen, kun taas ruotsalaisissa putkissa se oli spiraalimainen (kuva 10 b).

Muoviputkien seinämän muodolla eli korrugoinnilla on oleellinen merkitys putkessa tapahtuvaan virtaukseen. Korrugoinnin laatu vaihteli hieman putken valmistajasta riippuen. Kunkin koon korrugointi on esitetty kuvassa 11.

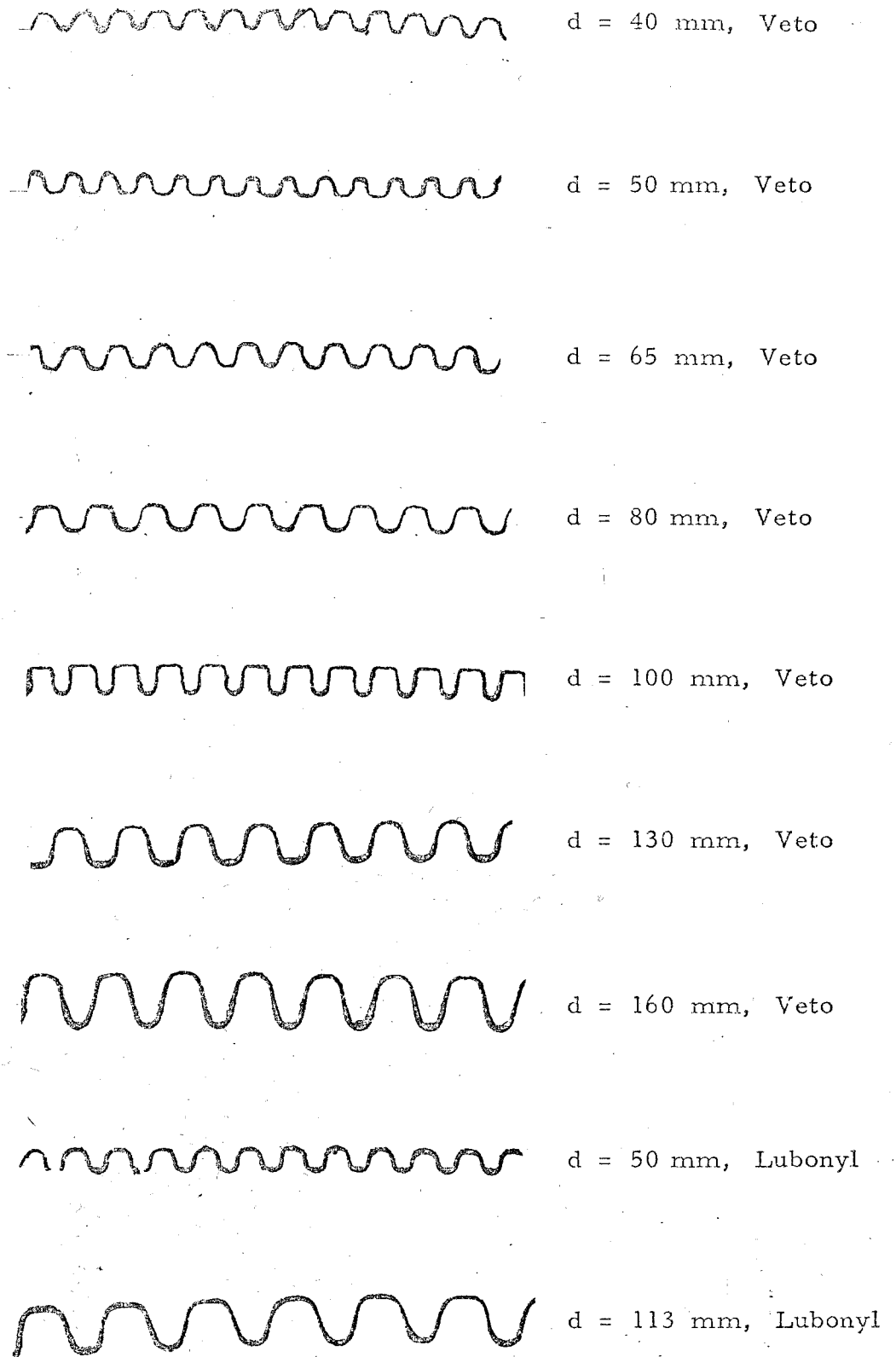
5.3.3 Putkista tehdyt määritykset

Kustakin muoviputkikoosta mitattiin pienin sisähalkaisija d_i neljästä kohdasta kuvan 10 osoittamalla tavalla. Samoin mitattiin ulkohalkaisija d_o . Mittavälineenä käytettiin työntömittaa, jonka takkuus oli 0.1 mm. Taulukossa 6 on esitetty kutakin kokoa vastaavat sisä- ja ulkohalkaisijoiden keskiarvot sekä näiden erotuksena laskettu keskimääräinen korrugoinnin syvyys. Mittaukset on tehty reiällisille sekä käytetyille reiättömille putkille.

Tiiliputkille tehtiin RIL 54:n mukaiset laadunvalvontamittaukset Suomen Tiiliteollisuusliiton tiililaboratoriossa. Jokaisesta putkikoosta valittiin 10 kpl mielivaltaisesti. Näistä määritettiin pituuden poikkeama 333 mm:stä, pienin ja suurin sisähalkaisija, soikeus, pienin ja suurin seinämän paksuus, kaarevuus ja pään viistous. Lisäksi määritettiin raasteen suuruus. Putkien koestuselokset ovat liitteessä 1. Laskelmia varten määrättiin mittaustulokista putken keskimääräinen sisähalkaisija d_i siten, että ensin laskettiin jokaisen putken suurimman ja pienimmän sisähalkaisijan keskiarvo. Lopulliseksi d_i :ksi otettiin sitten näiden kymmenen keskimääräisen halkaisijan keskiarvo. Taulukossa 7 on esitetty näin saadut arvot d_i lle sekä keskiarvon hajonta s .



Kuva 11. Muovisalaojaputkien korrugoinnin muoto



Kuva 11. Muovisalaojaputkien korrugoinnin muoto

Taulukko 6. Muoviputkien sisä- ja ulkohalkaisijat

d mm	d _i mm	d _o mm	$(d_o - d_i)/2 = t$ mm	
40	39.8	45.7	3.0	reiällinen, Veto
50	50.0	55.6	2.8	"
65	65.3	72.3	3.5	"
80	81.3	89.4	4.1	"
100	99.4	109.9	5.3	"
130	129.1	141.0	6.0	"
160	159.0	175.6	8.3	"
50	50.5	56.4	3.0	reiätön, nystyrät
65	65.0	72.9	4.0	reiätön, ei nystyröitä
80	81.2	89.3	4.1	"
100	99.3	109.9	5.3	"
130	128.6	141.6	6.5	reiätön, nystyrät
160	159.0	175.1	8.1	"
50	49.7	56.8	3.6	reiällinen, Lubonyl
113	113.5	128.2	7.4	"

Taulukko 7. Tiiliputkien keskimääräiset sisähalkaisijat

d mm	d _i mm	s mm
40	41.5	0.15
50	52.0	0.23
65	67.0	0.20
80	80.9	0.32
100	101.4	0.29
130	135.7	0.69
160	162.0	0.8

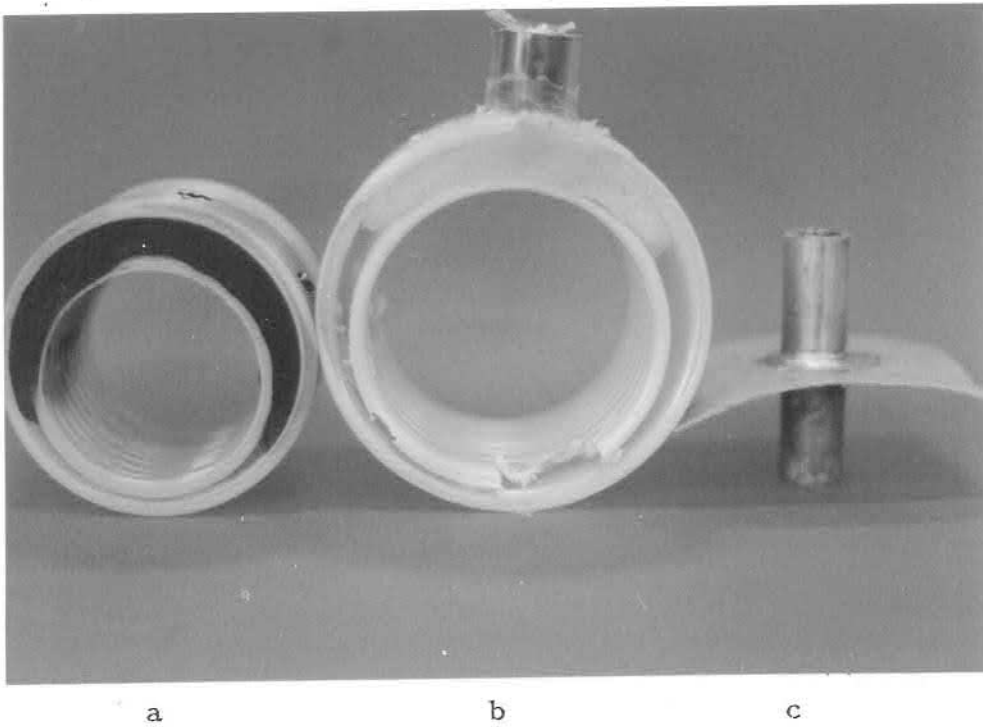
5.4 Putken asennus ja veden kierto

5.4.1 Tutkittavan putken tiivistäminen

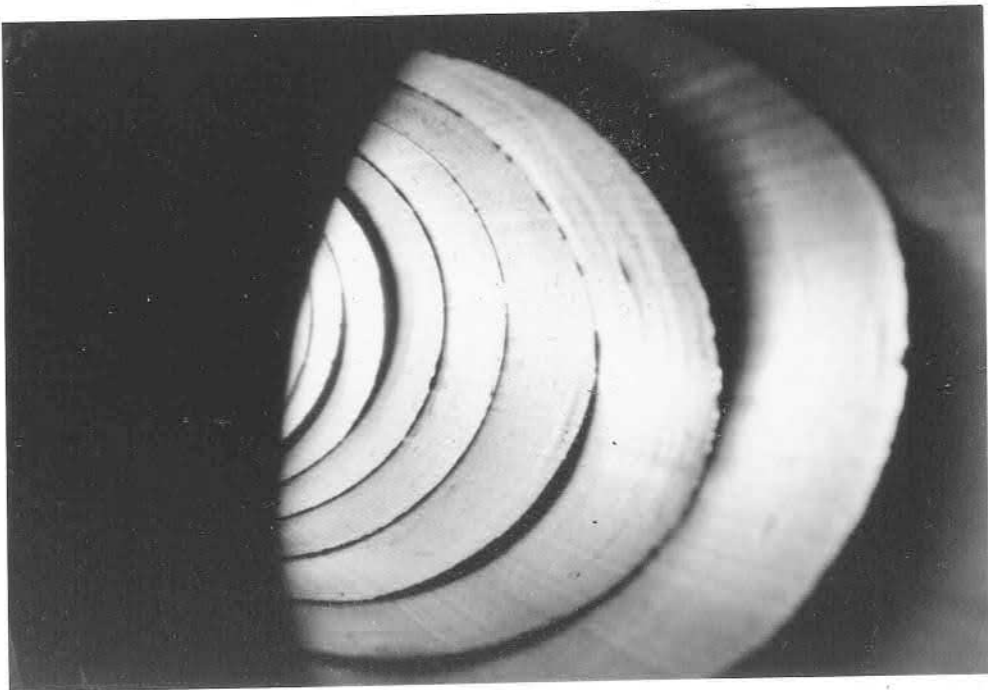
Virtauskoetta varten oli muoviputkien reiät ja tiiliputkien saumat tiivistettävä. Reiättömänä valmistettujen muoviputkien käyttö ei ollut mahdollista, sillä halkaisijaltaan 40, 50, 130 ja 160 mm:n putkissa oli reiättömänä kitkaa lisäävät nystyrät (kuva 10 a).

Muoviputken reikien tiivistäminen suoritettiin siten, että tutkittava reiällinen putki asetettiin seuraavaksi suuremman reiättömänä toimitetun putken sisään. Suojaputkessa ei nystyröistä ole haittaa. Vesi täytti putkien välisen tilan, mutta sen kulku siinä estettiin ruiskuttamalla silikonimassaa (kuva 12 a) ja suurimmilla putkilla sullomalla vaahtomuovisuikaleita sisä- ja ulkoputken väliin. Tämä tehtiin tutkittavan putkiosuuden molemmissa päissä, kunkin paineenmittauskohdan välittömässä läheisyydessä kohdan molemmin puolin sekä mittapisteiden puolivälin tienoilla.

Tiiliputkien saumat tiivistettiin samalla tavalla. Ulkoputkena käytettiin sellaista muoviputkea, jonka sisään tiiliputket mahtuivat. Putket työnnettiin sisään suojaputken molemmista päistä siten, että putket asettuivat vapaasti vastakkain. Veden virtaus tutkittavan putkirivin ja suojaputken välissä estettiin vastaavalla tavalla kuin muoviputkilla. Ulkoputken väljyydestä riippuen muodostui tiiliputkilinjaan eri kokoisia poikkeamia (kuva 5). 160 mm:n putkella olivat poikkeamat jopa 10 mm:n suuruisia (kuva 13). Kullakin putkikokoolla käytetyn ulkoputken halkaisija selviää mittauslomakkeista. Mainittakoon, että salaojankaivukoneen jättämän kaivannon leveys on pienemmille putkille 160 mm ja suuremmille 270 mm. Ensin mainitussa tapauksessa ojan pohjan kaarevuussäde on 80 mm. Pieniä putkia varten pohjalle tehdään lisäksi noin 10 mm syvä v-muotoinen ura. Suuremman kaivannon pohjan kaarevuussäde on 90 mm. Pohja yhdistetään seinämiin v-muotoisilla reunoilla.



Kuva 12. a. veden kulun estäminen putkien välissä, b. paineenmittauspään kiinnitys, c. paineenmittauspää



Kuva 13. Tiiliputkilinja

5.4.2 Putkilinja

Putkisysteemi asetettiin mittaushallin lattialle vaakatasoon vaaitulle kiskoalustalle. Kiskot betonoitiin kiinteästi paikalleen. Alusta oli sama koko koesarjan ajan.

Linja kulki hallin poikki venttiilistä kiinteään mittapatoon. Kuva 14 esittää kaavamaisesti käytettyä mittausjärjestelmää vesialtteen. Yleiskuva hallista on esitetty kuvassa 15.

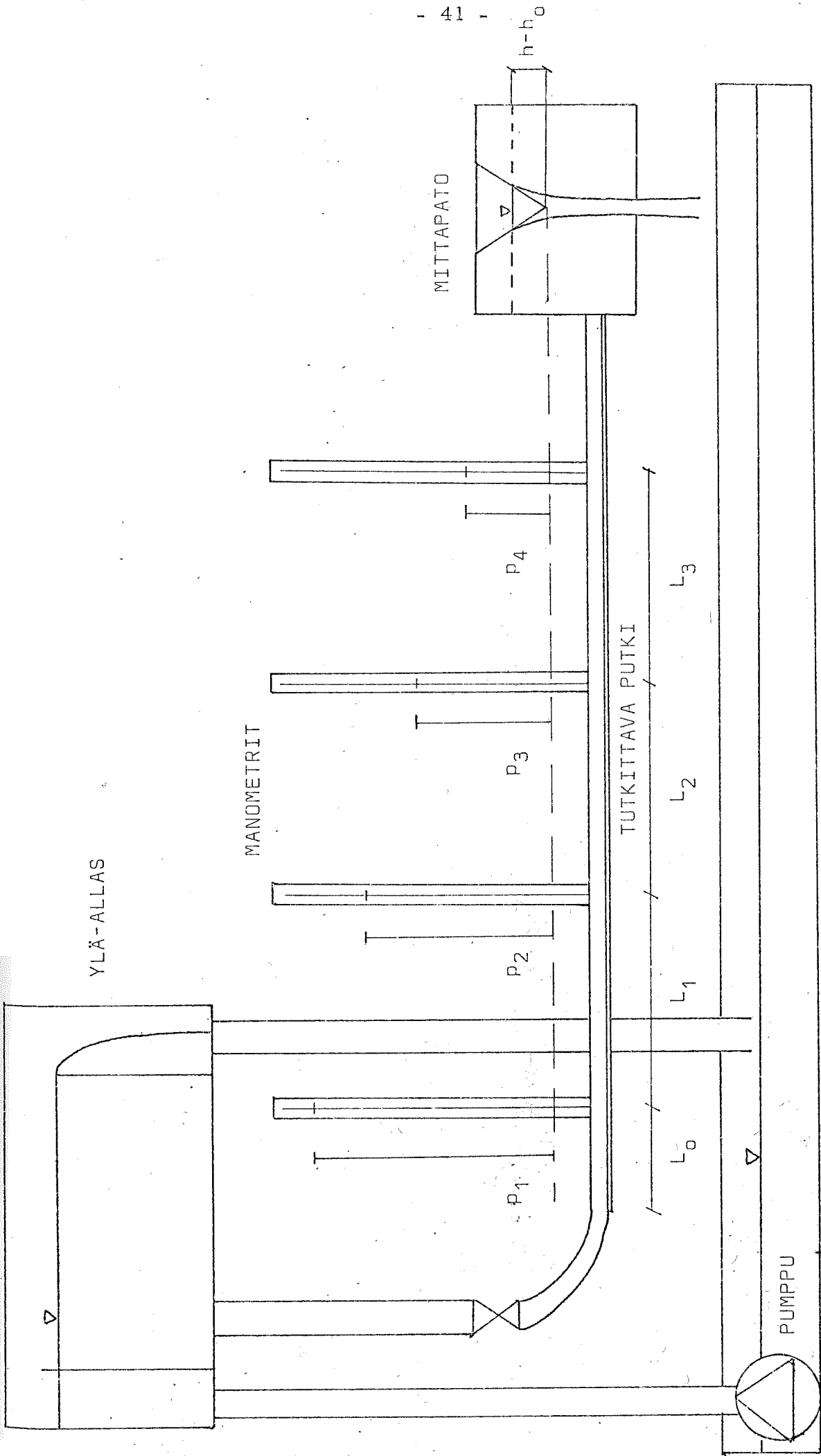
Kutakin putkiyhdistelmää varten valmistettiin kuvan 16 esittämät laipat linjan yhdistämiseksi laboratorion putkistoon. Tiiliputkien yhdistäminen suoraan edellä kuvattuihin laippoihin ei käynyt päinsä. Tällöin väliin asennettiin muoviputkikappale.

5.4.3 Veden kierto

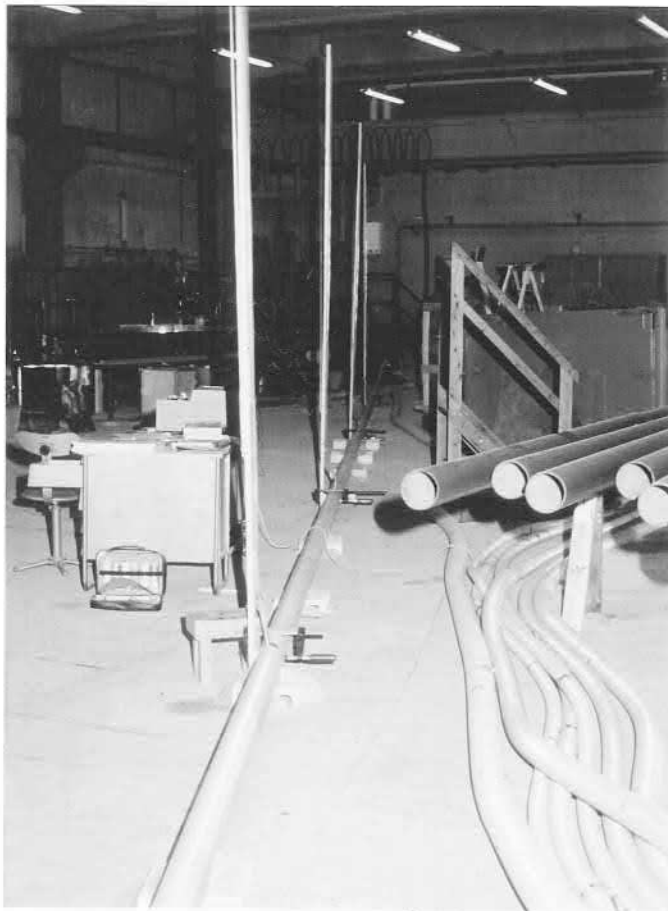
Vesi johdettiin putkilinjaan laboratorion yläsäiliöstä. Tämän tilavuus on noin 150 m^3 . Vedenpinta säiliössä pidetään vakiokorkeudella ylisyoxyreunan avulla, jota TKK:n vesirakennuslaboratoriossa on noin 150 m. Yläaltaasta saatiin putkilinjaan nähden noin 7 m:n painekorkeus. Kunkin mittauksen aikana säiliö pidettiin täynnä pumpaamalla vettä ala-altaasta. Ylisyoxyreunan avulla eliminoidut pumpun sykäykset virtauksesta.

Vesi johdettiin putkisysteemiin erilaisten supistuskappaleiden avulla. Vedennopeutta säädettiin venttiilin avulla.

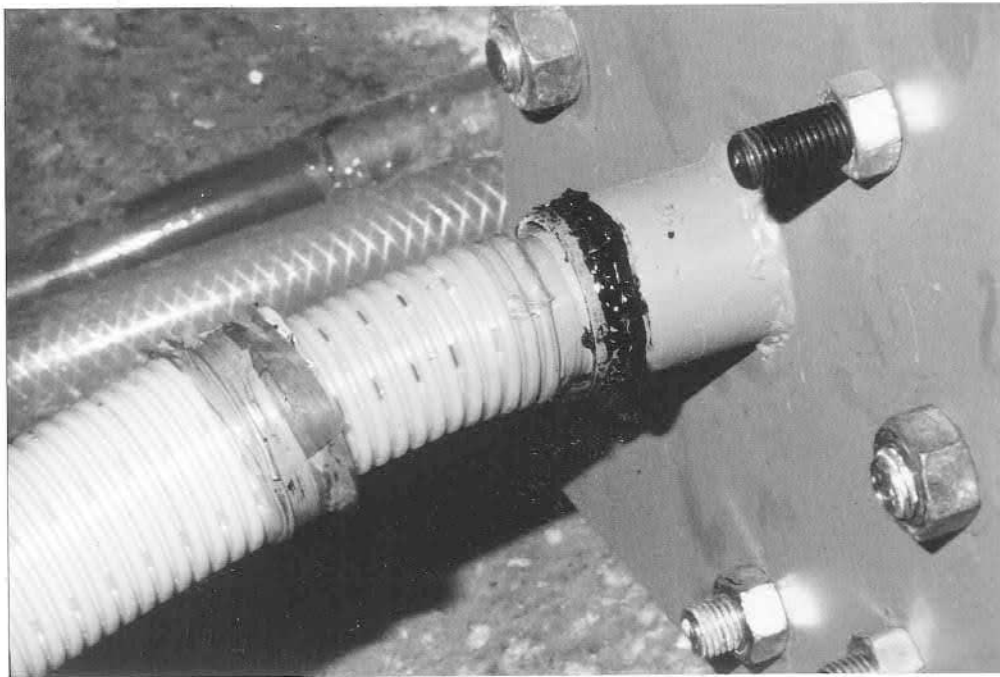
Tutkittavasta putkesta vesi johdettiin mittapatoon. Koska tämä oli asennettu kiinteästi paikalleen ja tutkittavien putkiosuuksien pituudet vaihtelivat, jouduttiin käyttämään eri pituisia putkia veden mittauksen järjestämiseksi ja veden johtamiseksi ala-altaaseen. Tavallisesti suojaputkea jatkettiin niin pitkälle, että se pysyttiin yhdistämään mittapatoon. Mittauksen jälkeen vesi johdettiin ala-altaaseen.



Kuva 14. Kaavakuva koejärjestelyistä



Kuva 15. Yleiskuva mittausjärjestelmästä



Kuva 16. Sisä- ja ulkoputken kiinnitys laippaan

5.5 Vedenpaineen mittauss

Putkessa tapahtuva painehäviö mitattiin pääasiassa Re-alueella $10^4 - 10^5$. Alue vaihteli hieman putkikoon mukaan.

Tutkittavan putkiosuuden pituus oli noin $200 \times d_{si}$. d_{si} tarkoittaa tässä sisäputken keskimääräistä sisähalkaisijaa. Pituus jaettiin kolmeen yhtä suureen osaan ja paine mitattiin siten neljästä kohdasta. Ennen ensimmäistä mittapistettä olleen tulo-osuuden pituus oli noin $50 \times d_{si}$, paitsi putkikoolla 160 mm. Tällöin hallin mitat rajoittivat putkisysteemin pituuden noin 35 metriin ja tutkittavalle putkiosuudelle asetettu vaatimus pantiin etusijalle. Vaatimukset olivat samat sekä muovi- että tiiliputkille.

Paine mitattiin yksinkertaisilla manometreillä. Veden annettiin kohota halkaisijaltaan 16 mm:n läpinäkyvään muoviletkuun. Letku oli kiinnitetty lautaan, joka voitiin siirtää tarvittavaan kohtaan. Letkun viereen oli kiinnitetty muuteltavissa oleva mitta, josta vedenpinnan korkeus voitiin lukea. Manometrejä oli kaikkiaan neljä.

Vesi otettiin manometriin kutakin putkikokoa varten mittojen mukaan valmistettujen osien avulla. Tutkittava putki työnnettiin ensin suojaputken sisään. Tämän jälkeen etukäteen mitattuihin kohtiin porattiin päältäpäin 16 mm:n reikä kuvassa 12 c esitettyä osaa varten. Veden pääsy ulkoputkesta manometriin estettiin silikoni-massalla, kuva 12 b. Paineenmittauspään jälkeen vesi joutui nousemaan letkuun erillisen putken läpi, jonka pohjassa oli 1 mm:n reikä. Tämä välikappale oli mukana kaikissa mittauksissa.

Tiiliputkiin ei putkien rikkoutumisvaaran takia porattu yhtä suurta reikää kuin muoviputkiin. Vesi otettiin letkuun tällöin halkaisijaltaan 6 mm:n putken avulla. Sama väliosaa kuin muoviputkien mittauksissa oli mukana myös tiiliputkilla.

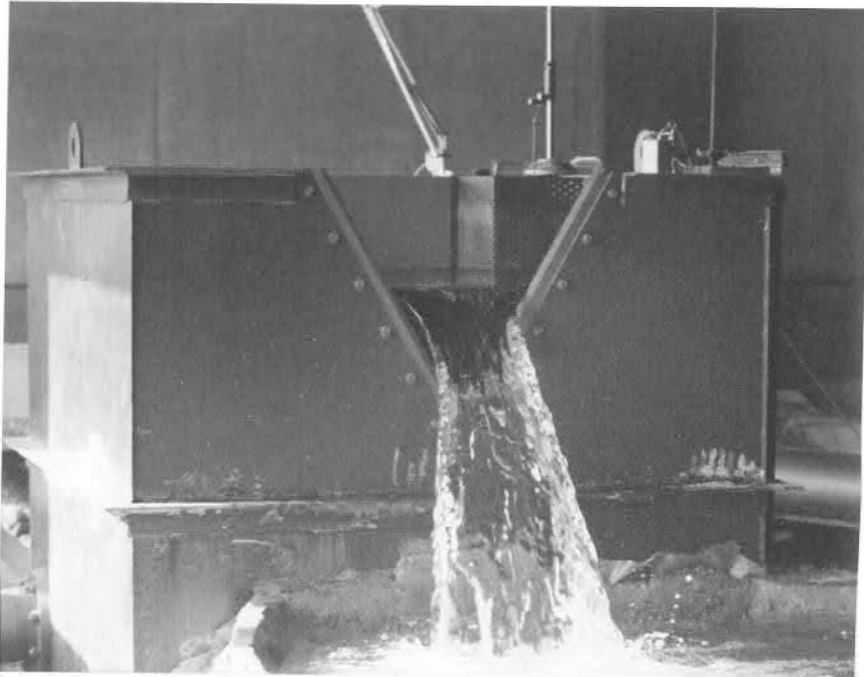
5.6 Virtaaman mittaus

Virtaama mitattiin 60° V-aukkoisella mittapadolla, kuva 17. Vedenpinnan korkeus mitattiin mittajalan avulla, joka oli koko koesarjan ajan kiinteästi paikallaan. Mittapadon nollakorkeus h_0 mittajalassa määritettiin. Kutakin vedenpinnan korkeutta vastaava virtaama saatiin padon kalibrointikäyrästä.

Vedenpinnan korkeutta seurattiin piirturilla. Manometrien ja mittapadon vedenpinnan korkeudet luettiin, kun virtaama oli selvästi asettunut paikoilleen. Liitteessä 2 on esimerkki piirturin näytöstä yhden mittauksen aikana.

5.7 Lämpötilan mittaus

Veden lämpötila kullakin mittauskerralla mitattiin mittapatoon asetetulla elohopealämpömittarilla.



Kuva 17. Mittapato

6 MITTAUSHAVAINNOT JA NIIDEN KÄSITTELY

6.1 Havainnot ja niiden tarkkuus

6.1.1 Alkuvalmistelut

Ennen varsinaisia painehäviömittauksia oli tarkistettava tutkittavien välien pituudet. Manometrien etäisyydet L_1 , L_2 ja L_3 mitattiin paineenmittauspäiden kiinnittämisen jälkeen 1 mm:n tarkkuudella. Samoin mitattiin tulo-osuuden L_0 pituus. Tulo-osuuden alkupisteeksi muoviputkilla katsottiin kohta, jossa putki oli alustalla vaakasuorassa. Tiiliputkilla alkupisteeksi otettiin linjan ensimmäisen putken etureuna.

Putkissa ollut ilma oli poistettava ennen manometrien lukemista. Tämä tehtiin pienillä muoviputkilla siten, että putkea nosteltiin myötävirtaan veden virratessa sen sisällä. Ilma poistui täten mittapadon kautta. Suurimpien muoviputkisysteemien ja tiiliputkien nosteleminen oli mahdotonta. Niistä ilma poistettiin juoksumalla vettä maksiminopeudella noin 30 min.

Jotta paine-ero voitaisiin laskea, oli manometrien mitat nollattava samaan tasoon. Tämä tehtiin siten, että putkisysteemi täytettiin ensin vedellä ja ilma poistettiin. Sen jälkeen venttiili suljettiin ja virtaus pysäytettiin. Vedenpinta mittapadossa asetui nollakorkeuteen. Yhtenevien astioiden perusteella vedenpinnat manometreissä asettuivat samalle tasolle. Mittojen nollapisteesäädettiin tälle korkeudelle.

6.1.2 Vedenpaine

Vedenpinnan korkeudet p_1 , p_2 , p_3 ja p_4 manometreissä luettiin venttiilin säädön jälkeen, kun virtaama oli pysynyt vakiona noin viisi minuuttia. Lukematarkkuus oli 1 mm.

6.1.3 Virtaama

Mittapadossa vedenpinnan korkeus luettiin 0.05 mm:n tarkkuudella. Lukemasta vähennettiin padon nollakorkeus. Saatua arvoa vastaava virtaama saatiin padon kalibrointikäyrästä 0.05 l/s tarkkuudella.

6.1.4 Lämpötila

Veden lämpötila mitattiin 0.5 °C:n tarkkuudella.

6.2 Laskelmat

6.2.1 Virtaaman Q ja kaltevuuden h_f/L riippuvuus

Vedenjohtokyky ilmaistaan usein virtaaman ja kaltevuuden välisenä yhteytenä. Kuvaja on useimmiten suora, silloin kun se esitetään logaritmpaperilla.

TKK:n vesirakennuslaboratoriossa tehtyjen kokeiden tulokset esitettiin eo. tavalla. Virtaama Q saatiin mittapadon kalibrointikäyrästä. Kutakin virtaamaa vastaava painehäviö h_f/L saatiin manometrien välisten putkiosuuksien kaltevuuksien $\frac{P_{i+1} - P_i}{L_i}$, $i = 1, 2, 3$ keskiarvona. Painehäviöiden keskihajonta laskettiin kaavalla (29).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{L_i} \right)^2}{n-1} - \left(\frac{\sum_{i=1}^3 \frac{P_{i+1} - P_i}{L_i}}{n-1} \right)^2}, \quad n = 3, \quad (29)$$

6.2.2 Kitkahäviökerroin

Toinen tapa ilmaista putken vedenjohtokyky on esittää putken kitkakerroimen riippuvuus Re -luvusta.

Kitkahäviökertoimen arvo kullakin virtaamalla laskettiin ratkaisemalla f yleisestä kitkahäviökaavasta (7), kaava (25). Yhteys

virtaamaan esitettiin Re -luvun avulla (kaava (6)). Saadut piste-parit piirrettiin logaritmi-paperille ja niiden kautta piirrettiin käyrä, joka mahdollisimman hyvin edustaa pistejoukkoa.

6.3 Korjaukset mittaustuloksiin

6.3.1 Nystyröiden vaikutuksen eliminoiminen

Koe suoritettiin halkaisijaltaan 160 mm:n muoviputkella reiättömällä putkella, koska suurempaa reiätöntä putkea ulkoputkeksi ei suoritusvaiheessa ollut saatavilla. Tässä putkessa oli kuvan 10 a esittämät nystyrät, joten mittaustulokset eivät sellaisenaan sovellu käytettäviksi.

Mittaustulosten korjaaminen tehtiin graafisesti. Nystyröitten vaikutus virtaukseen arvioitiin halkaisijoiltaan 50 ja 130 mm:n putkilla, jotka reiättömänä olivat myös nystyrällisiä. Mittaukset näillä putkilla suoritettiin sekä reiättömällä että reiällisillä putkilla. Nystyrät kaikissa putkissa olivat samankokoisia. Kaltevuudessa ja kitkakertoimessa olevan cr reiättömän ja reiällisen putken välillä oletettiin johtuvan ainoastaan nystyröistä. Ero laskettiin prosentteina reiättömälle putkelle saadusta arvosta neljällä eri vedennopeudella. Suoraviivaista ekstrapolointia hyväksikäyttäen arvioitiin sitten korjausprosentti 160 mm:n putkelle. Saatujen pisteiden avulla piirrettiin korjatut kuvaajat.

6.3.2 Lämpötilakorjaus

Veden lämpötila vaikuttaa Re -lukuun. Jotta tulokset eri putkikoilla olisivat vertailukelpoisia, tulisi mittaukset suorittaa samanlämpöisellä vedellä. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole täysin mahdollista. Vaihtelut lämpötiloissa eivät eri mittausten välillä olleet kovin suuria. Pienin koelämpötila oli 12.5°C ja suurin 17.0°C . Kunkin mittauspäivän aikana lämpötila pysyi vakiona

lukuunottamatta yhtä koetta, jolloin lämpötila yllättävästi laski $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Mitoitusnomogrammin piirtämistä varten $h_f/L - Q -$ käyrät korjattiin vastaamaan $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ veden kuljetusta. Korjauksessa käytettiin apuna $f - Re -$ käyrää, josta katsottiin tiettyä kitkakerrointa vastaava Re - luku. Uusi vedennopeus ratkaistiin kaavasta (6) sijoittamalla siihen käyrästä katsottu Re , putken halkaisija d ja kinemaattinen viskositeetti $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Kaavalla (4) ratkaistiin sitten Q . h_f/L laskettiin käytettyä Re -lukua vastaavalla kitkakerroimella ja saadulla vedennopeudella sijoittamalla ne kaavaan (7). Virtaaman ja kaltevuuden h_f/L välille saatua uutta yhteyttä käytettiin mitoitusnomogrammin piirtämisessä. Erot mittauslämpötilaan nähden olivat verrattain vähäisiä.

6.4 Mitoitusnomogrammin piirtäminen

Virtaaman Q ja kaltevuuden h_f/L välille saadut riippuvuudet $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa piirrettiin logaritmi-paperille muovi- ja tiiliputkilla erikseen. Samoja vedennopeuksia vastaavat pisteet putkikokojen välillä yhdistettiin. Mittausten perusteella ei yhdysviivasta tullut suoraa, kuten teoreettisesti mitoitusnomogrammia piirrettäessä. Saadun murtoviivan suuntaa mahdollisimman hyvin seuraten piirrettiin sitten kutakin vedennopeutta vastaavat suorat.

Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että saatu nomogrammi perustuu puhtaasti mittauksiin eikä siinä ole otettu huomioon minkäänlaisia varmuustekijöitä.

7 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

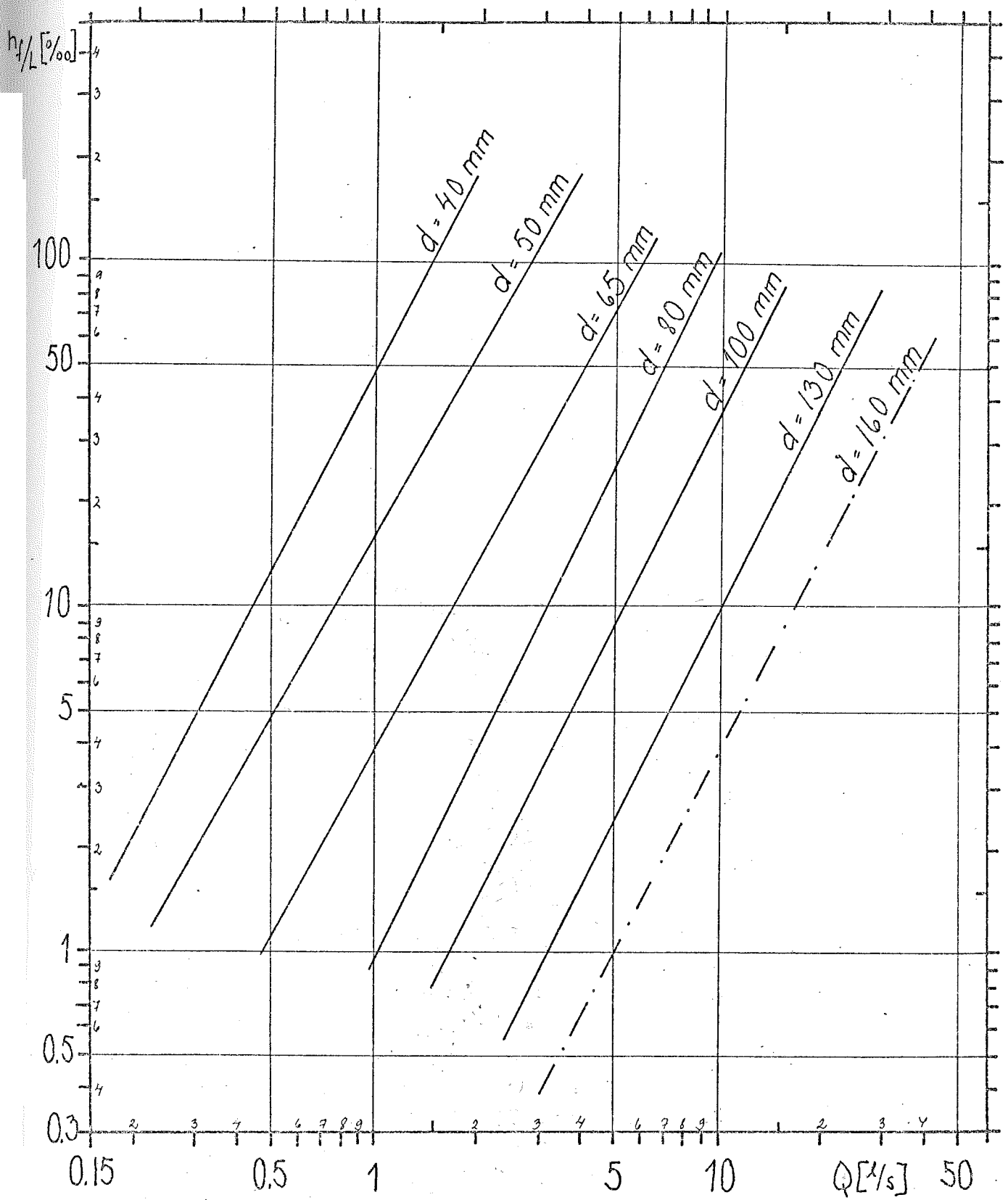
7.1 Tulokset

Muoviputkille saatu vedenjohtokyky on esitetty sekä $h_f/L-Q$ -käyrän että $f-Re$ -käyrän muodossa kuvissa 18 ja 19 vastaavasti. Kuvaajat esittävät tuloksia mittausslämpötiloissa. Kokeiden välillä vallinneilla lämpötilaeroilla ei kuitenkaan ole huomattavaa vaikutusta käyrien sijaintiin ja muotoon. Kuvasta 18 nähdään, että esim. halkaisijaltaan 40 mm:n putki johtaa 1.0 %:n kaltevuudella vettä 0.40 l/s ja vastaavasti 160 mm:n muoviputki 17 l/s. Muoviputkien kitkakertoimeksi saatiin Reynoldsin luvun ollessa 10^4 keskimäärin 0.065 ja Re -luvun ollessa 10^5 noin 0.045. Tämä voidaan nähdä kuvasta 19.

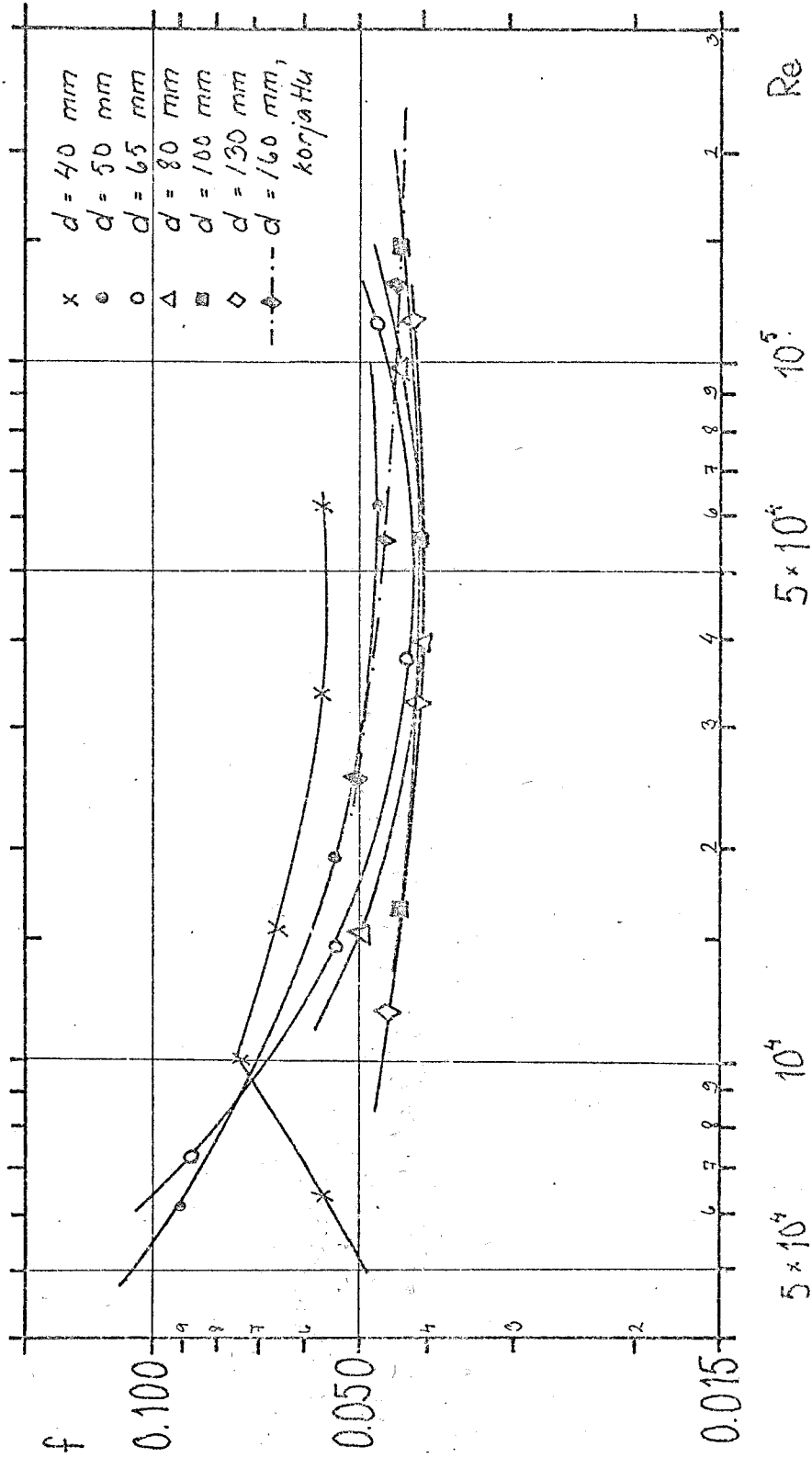
Tiiliputkille saadut vastaavat käyrät on esitetty kuvissa 20 ja 21. Kuvan 20 mukaan halkaisijaltaan 40 mm:n tiiliputki johtaa 1 %:n kaltevuudella vettä 0.68 l/s ja 160 mm:n putki 25 l/s. Tiiliputkien kitkakerroin on keskimäärin 0.037, kun Re -luku on 10^4 ja 0.020, kun Re -luku on 10^5 (kuva 21).

Mittaushavainnot ja laskelmat kullekin putkikoolle on yksityiskohtaisesti esitetty liitteessä 3 muoviputkille ja liitteessä 4 tiiliputkille. Kaikista putkista on niinkään piirretty $h_f/L-Q$ -käyrät ja $f-Re$ -käyrät kullekin putkelle erikseen. Näistä selviää pisteiden hajonta piirrettyyn käyrään nähden.

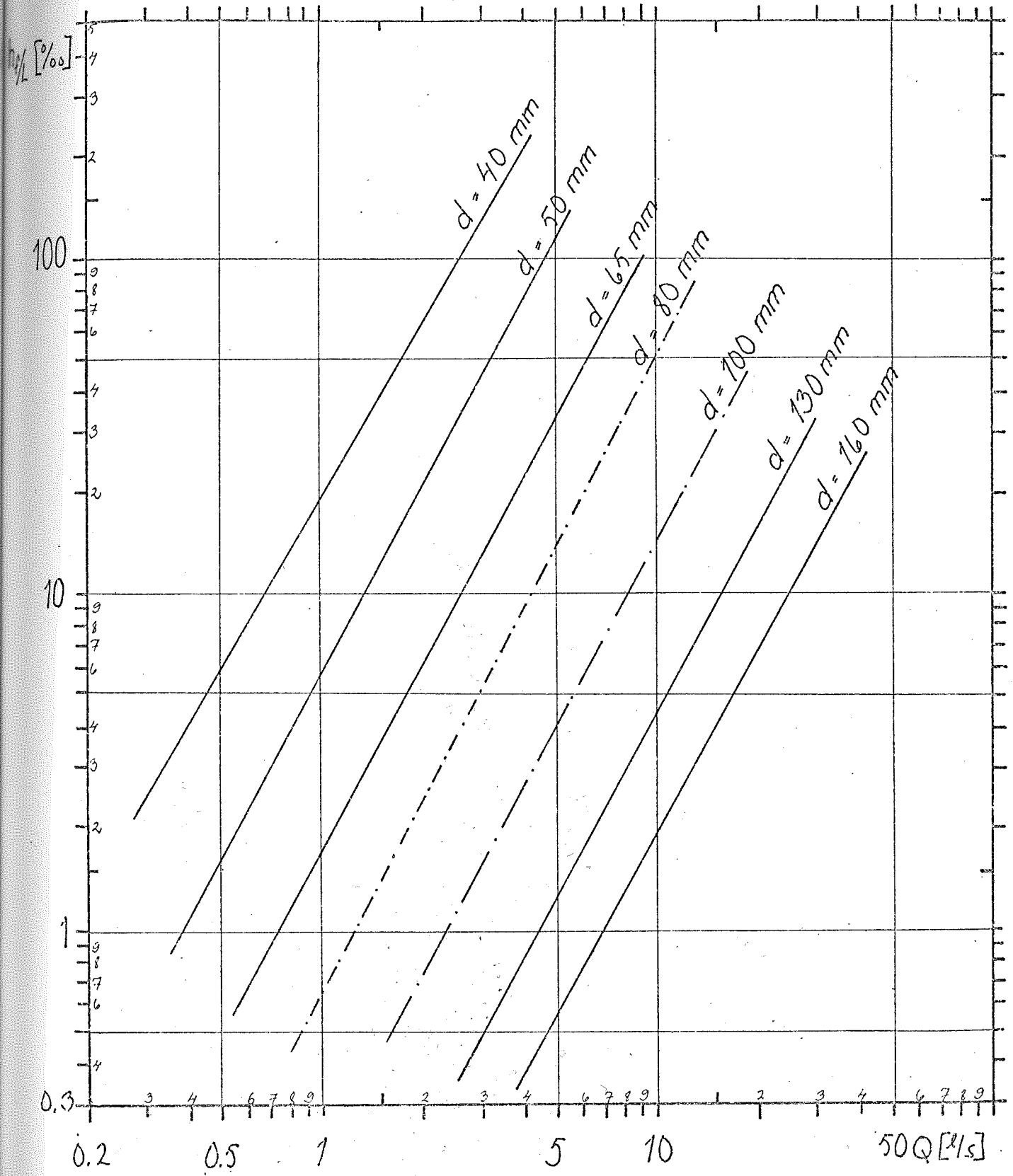
Halkaisijaltaan 160 mm:n muoviputkella tehtyjen mittausten korjaamiseksi tarvittavien vähennysprosenttien arvioiminen on suoritettu liitteessä 5. Eroksi reiättömään putkeen nähden saatiin molemmille käyrille noin 11 %.



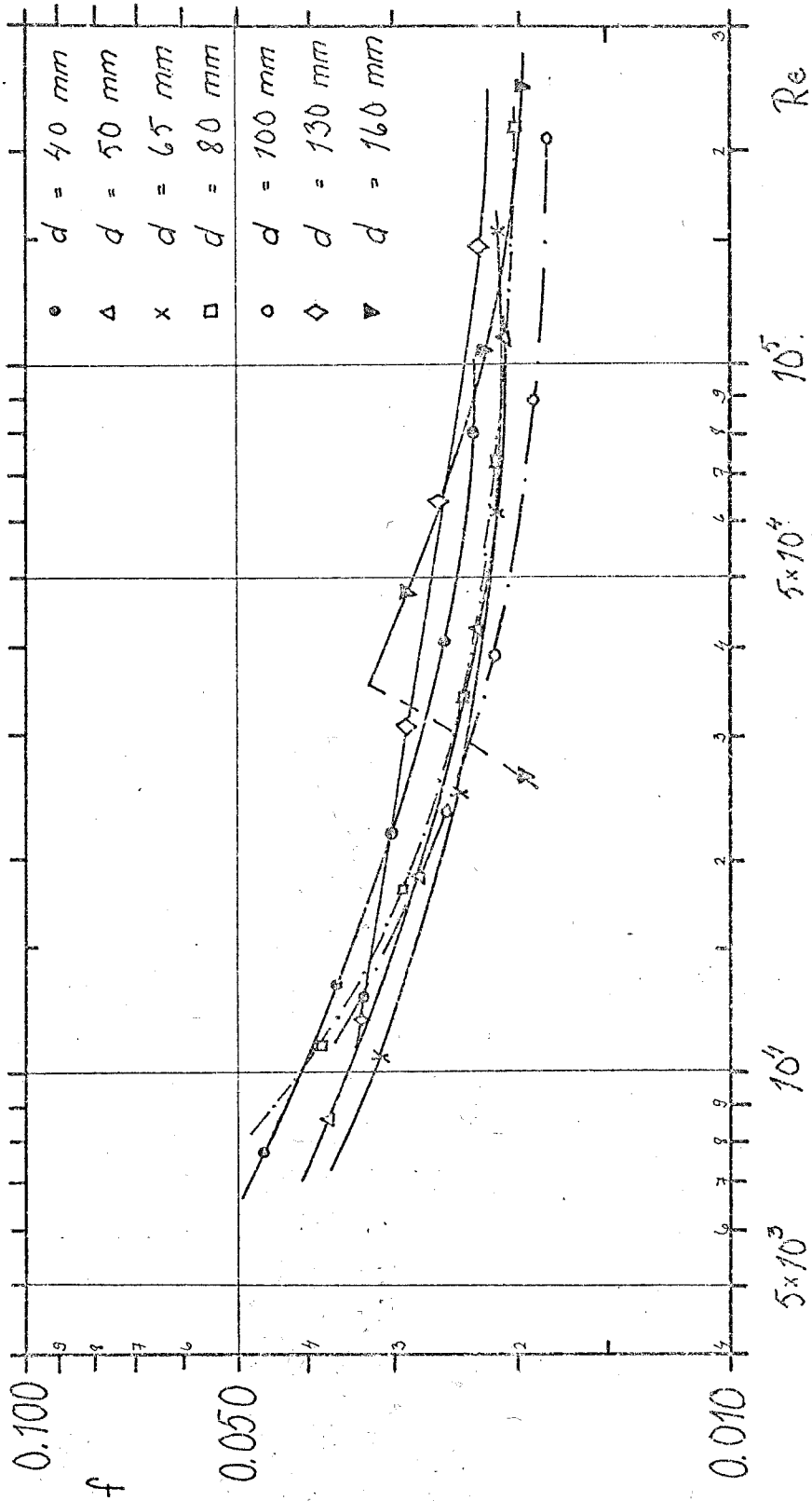
Kuva 18. Virtaaman Q ja kaltevuuden h_f/L riippuvuus muoviputkilla mittaustilanteissa



Kuva 19. Muoviputkien kitkakertoimien riippuvuus Re -luvusta



Kuva 20. Virtaaman Q ja kaltevuuden h_f/L riippuvuus tiiliputkilla mittaustilapötiloissa



Kuva 21. Tiiliputkien kitkakertoimien riippuvuus Re -luvusta

Mitoitusnomogrammit molemmille putkimateriaaleille on esitetty kuvissa 22 ja 23 muovi- ja tiiliputkille vastaavasti. Nomogrammia piirrettäessä käytettiin + 5 °C:een korjattuja arvoja.

7.2 Tulosten tarkastelua

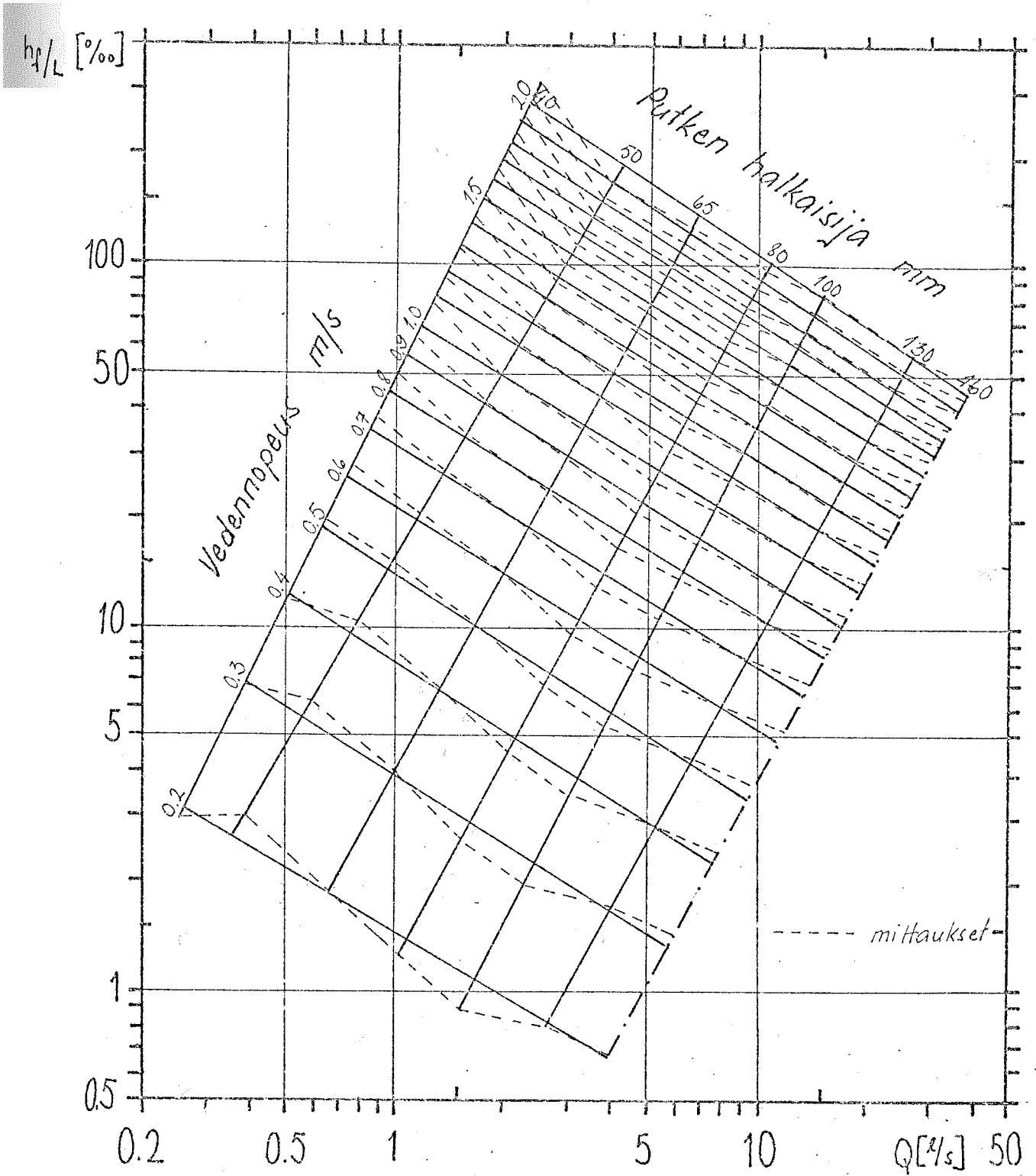
7.2.1 Kitkahäviökerroin

Muoviputkien kitkahäviökertoimelle saadut kuvaajat ovat alkupäästään laskevia käyriä. Kitkakerroin pienenee tasaisesti kunnes Re-luku on noin 5×10^4 . Re-luvun edelleen kasvaessa kitkakerroimen arvo pyrkii hiukan suurenemaan. Tämä oli ominaista useimmille muoviputkiko'ille. 40 mm:n putkelle saatu nouseva käyrän alkuosa saattaa olla merkinä virtauksen muuttumisesta laminaarisesta turbulenttiseksi virtaukseksi. Muilla putkiko'oilla ei samanlaista ilmiötä havaittu.

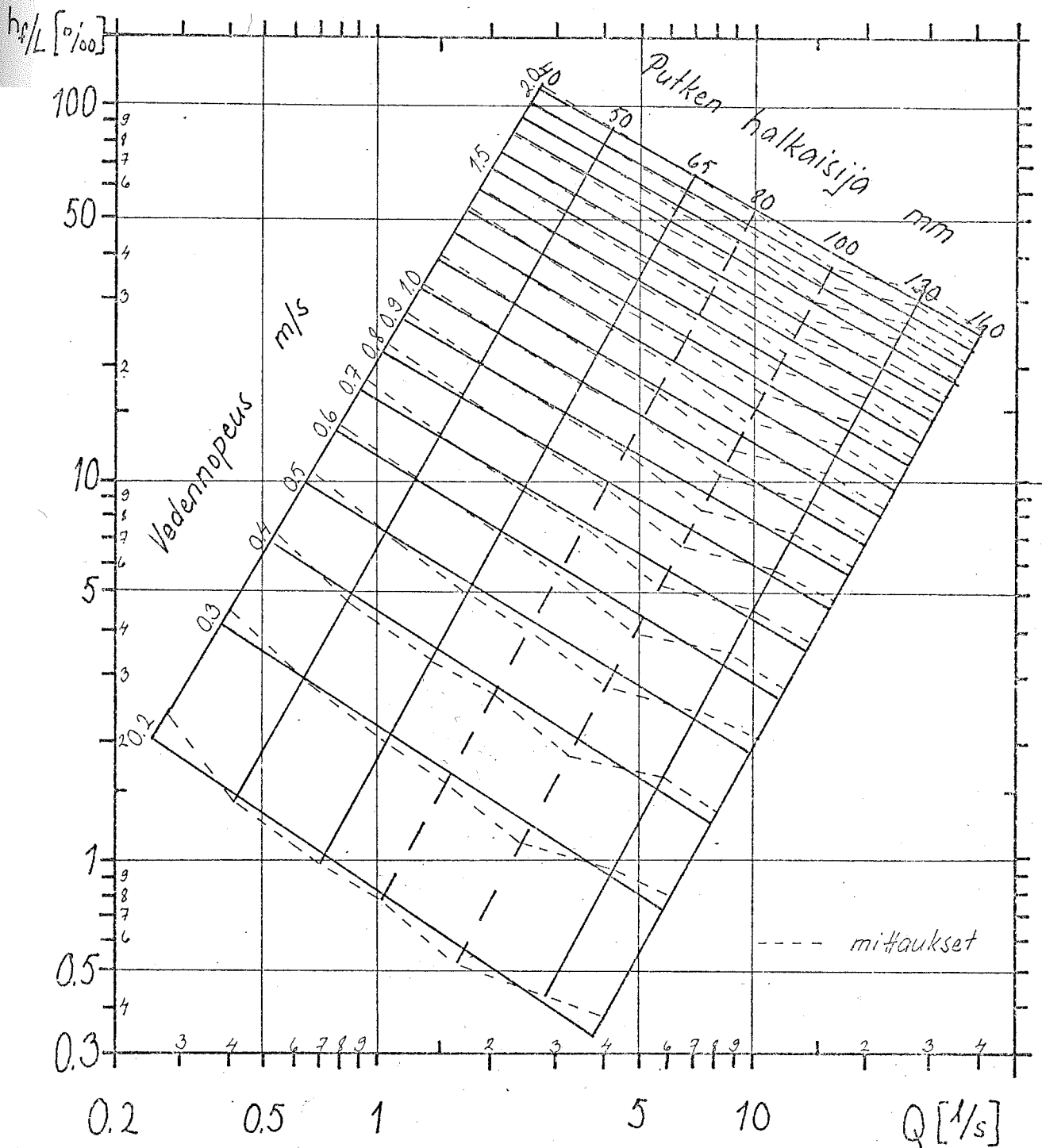
Moodyn käyrästään verrattuna sijoittuvat muoviputkien kitkakertoimet siirtymäalueen ja hydraulisesti karkean alueen rajalle. Tällä alueella kitkakertoimen arvo riippuu putken suhteellisesta karkeudesta k/d sekä Re-luvusta. Parhaiten noudattelee 130 mm:n putkelle saatu käyrä Moodyn käyrästön muotoja. Edellä mainitun putken suhteellinen karkeus k/d olisi Moodyn mukaan noin 0.012. Vastaavaksi arvoksi 40 mm:n muoviputkelle saataisiin 0.04, joskaan mitattu käyrä ei täysin noudata Moodyn piirtämän käyrän muotoa.

Tiiliputkille saatu kitkakerroin pieneni niinkään Re-luvun kasvaessa. Samaa käyrän nousuilmiötä kuin muoviputkilla Re:n kasvaessa tarpeeksi suureksi ei näillä ollut havaittavissa.

Moodyn käyrästössä sijoittuvat tiiliputkille saadut kuvaajat selvästi siirtymäalueelle lähelle hydraulisesti sileää aluetta.



Kuva 22. Muoviputkien mitoitusnomogrammi TKK:n vesirakennuslaboratorion kokeiden perusteella, kun veden lämpötila on $+ 5^{\circ}\text{C}$.



Kuva 23. Tiiliputkien mitoitusnomogrammi TKK:n vesirakennuslaboratorion kokeiden perusteella, kun veden lämpötila on + 5 °C.

Kuvaajien muodot eivät kuitenkaan noudattele Moodyn käyrästä. Suhteelliseksi karkeudeksi 40 mm:n tiiliputkelle saataisiin noin 0.002. 160 mm:n putkelle saatu käyrä leikkaa Moodyn käyrät, jotka vastaavat suhteellista karkeutta 0.004, 0.002 ja 0.001 ol-
len siten näitä jyrkempi. Halkaisijaltaan 65 mm:n putkelle saatu käyrä seuraa melko hyvin suhteellista karkeutta 0.001 vastaavaa käyrää. Muille putkiko'oilte saadut arvot sijoittuvat edellä esitet-
tyjen käyrien välille.

Verrattaessa kitkahäviökertoimelle saatuja arvoja muihin tutkimuk-
siin, havaitaan, että tuloksissa esiintyy eroavaisuuksia. Hermsmeierin
ja Willardsonin tuloksiin verrattuna eroa oli eniten. Halkaisijaltaan
100 mm:n putken kitkakertoimeksi saatiin Re-luvun ollessa 3×10^4
noin 0.043. Hermsmeier ja Willardson saivat samalla Re-luvulla
101.6 mm:n putkelle kitkakertoimeksi noin 0.054. Ero Dennisin
saamiin tuloksiin oli pienempi. TKK:n vesirakennuslaboratoriossa
saatiin 50 mm:n putken kitkakertoimeksi Re-luvun ollessa 10^4 noin
0.070 ja Re-luvun ollessa 3×10^4 noin 0.050. Dennis sai vastaa-
viksi arvoiksi 44.9 mm:n putkelle 0.059 ja 0.053. Kotimaisille
putkille saatu käyrä oli siten jyrkempi kuin po. tutkimuksissa.
Brink ja Nilssonin saamiin tuloksiin verrattuna vastasivat TKK:ssa
tehdyn kokeen tulokset parhaiten po. tutkimuksessa saatuja arvoja.
Korrugoiduilla putkilla ero tuli esille jälleen jyrkempien käyrien
muodossa. Samoin oli laita verrattaessa tiiliputkille saatuja arvoja
Adolfssonin tutkimukseen. Alueet Moodyn käyrästä olivat samat.

7.2.2 Mitoitusnomogrammin tarkastelu

Tarkasteittaessa kuvaa 22 havaitaan, että eri muoviputkiko'oilte
saadut suorat eivät ole täysin samansuuntaisia. Eniten poikkeaa
halkaisijaltaan 50 mm:n putkelle saatu kuvaaja muiden suorien
suunnasta. Tästä aiheutuu osittain se, että samaa vedennopeutta
vastaavat yhdysviivat eri putkikokojen välillä eivät ole suorita.

Jos tarkastellaan taulukkoa 6 ja kuvaa 11, huomataan, että 50 mm:n putkikoolla seinämän paksuus eli korrugoinnin syvyys on pienin. Koska ero muihin verrattuna kuitenkin on vähäinen, on kyseenalaista, aiheuttaako tämä havaitun eron suoran kulmaker-toimessa. Koeolosuhteissa muihin nähden ei havaittu mitään poik-keavaa.

Tulokseksi saatu mitoitusnomogrammi vastasi verrattain hyvin käytössä olevaa, Kutterin kaavalla määritettyä nomogrammia. Halkaisijaltaan 40 mm:n putkelle kokeet antoivat noin 7 % suu-remmat arvot ja 160 mm:n putkelle noin 15 % pienemmät arvot teoreettiseen verrattuna. Johtuen kokeissa saatujen suorien eri-laisesta kulmakertoimesta Kutterin nomogrammiin verrattuna on ero pienillä vedennopeuksilla huomattavampi kuin suurilla.

Tiiliputkille saadut h_f/L -käyrät ovat keskenään likimain saman-suuntaisia. Tämä voidaan nähdä tiiliputkille kokeiden perusteella piirretystä nomogrammista, kuva 23.

Kuvan 23 esittämä nomogrammi poikkeaa merkittävästi Kutterin kaavaan perustuvasta nomogrammista. Kaltevuuden ollessa saman antaa kokeellisesti määritetty nomogrammi huomattavasti suurem-pia virtaamia vastaavilla putkiko'oilla. Ero teoreettiseen nomo-grammiin verrattuna on jopa yli 50 %. Tämä johtuu toisaalta siitä, että Kutterin kaavaan perustuva nomogrammi edustaa verrattain varovaista arviota tiiliputkien vedenjohtokyvylle. Nomogrammin antama varmuus on huomattavan suuri. Toisaalta koeolosuhteet olivat ihanteelliset todellisiin ojitulosuhteisiin verrattuna ja mittaukset antavat siten todellista parempia tuloksia. Tiiliputkien vedenjohtokyky maastossa on todennäköisesti edellä esitettyjen arvojen välillä.

7.2.3 Virhetarkastelu

Eri paineenmittausväleille saatujen painehäviöiden hajonta on esitetty mittauslomakkeissa. Keskihajonta pysytteli tavallisesti 10 % pienempänä. Suurimmillaan se oli pienillä vedennopeuksilla. Ero painehäviöissä putkiosuuksilla L_1 , L_2 ja L_3 saattoi aiheutua putken epähomogeenisuudesta. Tällöin ei voida puhua varsinaisesta virheestä, jota esim. putkiin jäänyt ilma on voinut aiheuttaa. Painehäviön keskihajonta oli tiiliputkilla selvästi suurempi kuin muoviputkilla. Tämä johtunee tiiliputkien saumoissa tapahtuvien supistumis- ja laajentumishäviöiden vaihtelevasta jakautumisesta.

Halkaisijoiltaan 80 ja 100 mm:n tiiliputkilla saatiin keskihajonnaksi poikkeavan suuria arvoja. On ilmeistä, että suoritettut kokeet ovat näissä tapauksissa epäonnistuneet, joskaan mitään havaittavaa selitystä hajonnalle ei laboratoriossa löytynyt. Ensin mainitulla putkikokoolla tehtiin mittaukset kaksi kertaa. Jälkimmäisessä kokeessa pidennettiin tulo-osuus kolminkertaiseksi ensimmäiseen mittaukseen nähden. Muutoin koetilanne oli aivan sama. Toistamisella ei ollut hajontaa pienentävää vaikutusta. Po. putkille saadut kuvaajat on yhteenvedoissa esitetty katkoviivoin niiden epäluotettavuuden osoittamiseksi.

Kaltevuuden h_f/L ja virtaaman Q riippuvuus kuvautuu logaritmi-paperille suorana. Saadun pistejoukon puolittajana piirretyt suorat kuvaavat varsin hyvin aineistoa. Pisteiden poikkeamat keskimääräisestä suorasta olivat niin muovi- kuin tiiliputkilla suurimmat suoran alkupäässä pienillä vedennopeuksilla. Poikkeamien suuruusluokka oli tällöin keskimäärin 10 %. Pienillä muoviputkikokoilla hajonta oli suurempi kuin suurilla putkilla. Suurimpien putkikokojen ollessa kyseessä muodostivat havaitut pisteet selvästi suoran hajonnan ollessa erittäin vähäinen. Tiiliputkilla hajonnan jakautuminen putkikokoon nähden oli päinvastainen. Pienillä putkilla hajonta oli erittäin pieni lisääntyen putkikokoon kasvaessa.

Kitkakertoimen ja Re-luvun riippuvuutta kuvattaessa tuli pisteiden hajonta selvemmin esille. Muoviputkilla kuvaaja oli silmämääräisesti helppo piirtää, tiiliputkilla sen muoto ei ollut aivan yhtä selvä. Suurimmillaan pisteiden poikkeama piirretystä keskiarvosta oli 160 mm:n tiiliputkella. Re-luvun ollessa pieni, poikkeamat olivat noin 15 % ja Re-luvun ollessa suuri noin 5 %.

Tärkein virhettä aiheuttava tekijä muoviputkilla oli ilman jääminen putken korrugoinnin pohjalle. Koska reiät sijaitsevat putkea päältä katsottaessa aallon pohjassa, ei kaikki ilma päässyt poistumaan ulkoputkeen. Putken nosteleminen tai veden juoksuttaminen ei täysin pystynyt poistamaan korrugointiin jäänyttä ilmaa. Mitä pitemmän aikaa vettä jouksutettiin, sitä paremmin ilma poistui putkesta. Niinpä kokeen loppuvaiheessa, jolloin vesi oli virrannut putken läpi useita tunteja, ilman todennäköinen vaikutus painehäviölukemiin on ollut mitätön.

Kokeen suorituksen aikana putkilinjassa esiintyi vähäisiä vuotoja. Paineenmittauspäiden kohdalla havaitut vuodot paikattiin. Itse linjassa olleet pahimmat vuotokohdat tiivistettiin. Jäljelle jääneiden vuotojen osuus virtaamasta oli kuitenkin vain prosentin kymmenesosan luokkaa, joten vaikutus vedennopeuteen oli merkityksetön.

7.3 Käytetyn koemenetelmän edustavuus saatujen tulosten valossa

7.3.1 Tiivistystavan tarkastelu

Teknillisen korkeakoulun vesirakennuslaboratoriossa tutkittavat putket tiivistettiin käyttämällä reiätöntä ulkoputkea. Menetelmä testattiin suorittamalla mittaukset halkaisijaltaan 65 ja 80 mm:n muoviputkilla sekä reiällisellä putkella ulkoputken avulla että reiätömällä putkella ilman ulkoputkea. Koeolosuhteet olivat muutoin samat. Veden lämpötilat erosivat samalla putkikoolla suoritettujen

kokeiden välillä ainoastaan 0.5°C , minkä vaikutus tuloksiin on merkityksetön. Liitteessä 6 on esitetty reiättömillä putkilla suoritettujen mittausten tulokset.

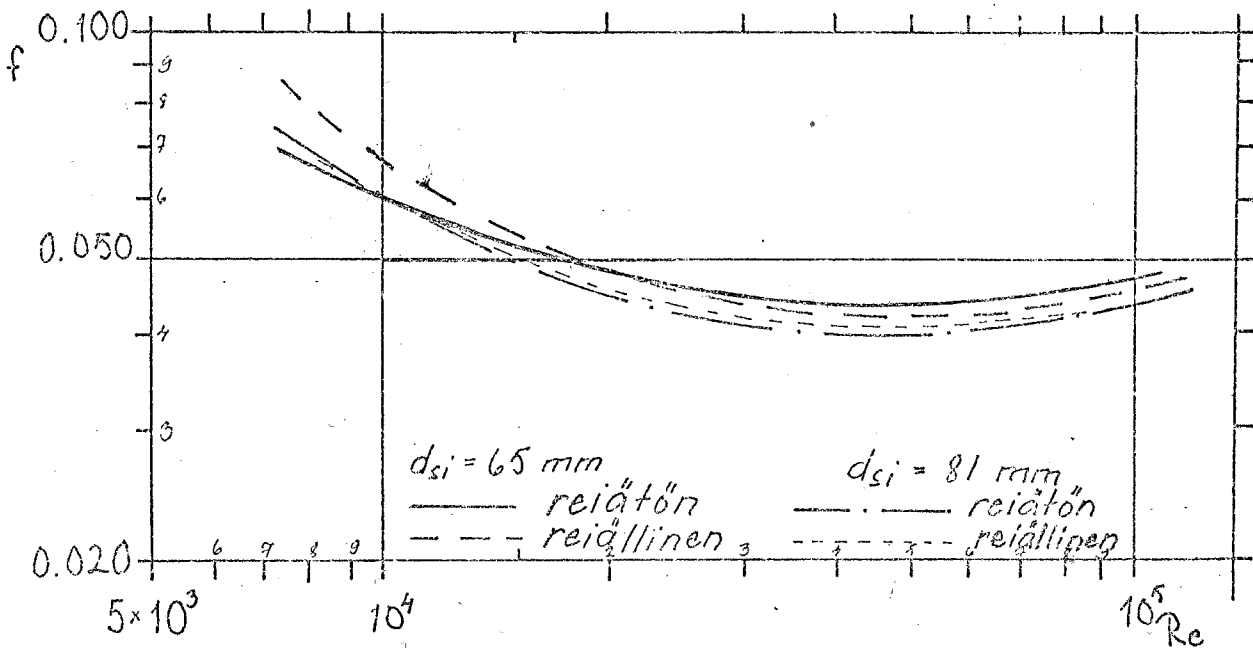
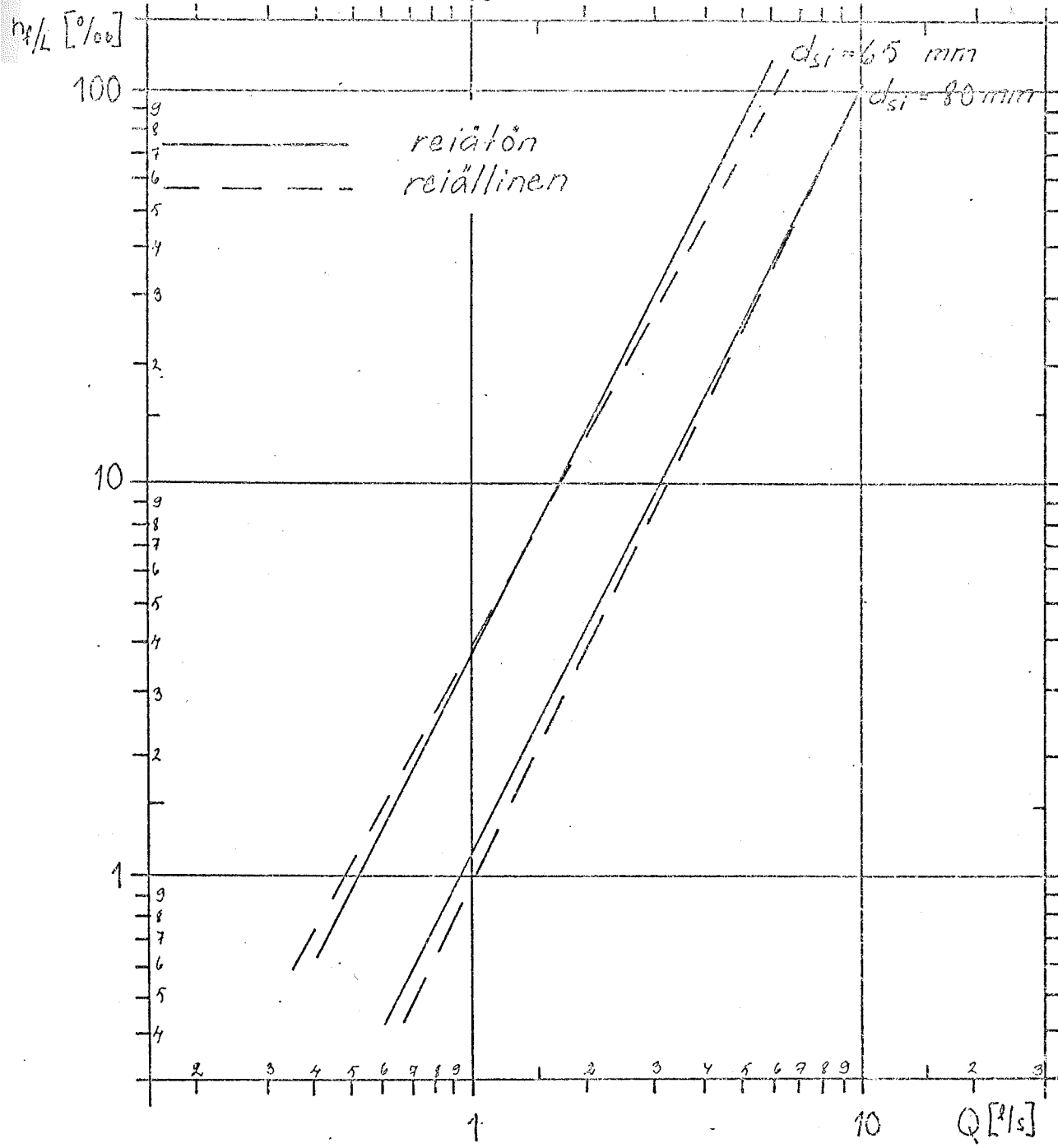
Kuvaan 24 on piirretty h_f/L - Q -käyrät ja f - Re -käyrät sekä reiättömillä että reiällisillä putkilla. Halkaisijaltaan 65 mm:n putkella on menetelmästä aiheutuva ero suurempi kuin 80 mm:n putkella. Ensin mainitussa tapauksessa ero tulee parhaiten ilmi kitkakerrotoimessa pienillä Re -luvulla. Suurilla Re -luvulla ero on erittäin vähäinen. Jälkimmäisen putkikoon ollessa kyseessä ei havaitulla erolla ole merkitystä. h_f/L - Q -käyrien kulmakertoimien ero on 65 mm:n putkella noin -6 % ja 80 mm:n putkella noin +4 % reiättömälle putkelle saaduista kuvaajista.

Tutkituille putkille mitatun eron aiheuttaja saattaa olla rei'istä sisään ja ulos virtaava vesi. Kahdelle putkelle saatujen tulosten perusteella tällä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä virtaukseen. Ainoastaan pienillä Re -luvulla kasvaa kitkakerroin sisäänvirtaavan veden johdosta.

7.3.2 Suomalaisen ja ruotsalaisen koemenetelmän vertailu

Ruotsissa on aikaisemmin tutkittu Lubonyl-salaojaputkien vedenjohtokykyä. Tulokset näistä tutkimuksista on esitetty kuvassa 8. Koemenetelmässä noudatettiin samoja periaatteita kuin TKK:ssa suoritetuissa kokeissa. Putkien tiivistäminen oli ratkaistu käyttämällä reiättömänä valmistettuja putkia.

TKK:n vesirakennuslaboratoriossa mitattiin myös kahden ruotsalaisen putkikoon vedenjohtokyvyt. Koemenetelmä oli sama kuin muille putkille käytetty. Mittaustulokset halkaisijaltaan 50 ja 113 mm:n putkille on esitetty liitteessä 7.



Kuva 24. Reiällisen ja reiättömän muoviputken vedenjohtokykyjen ero halkaisijoiltaan 65 ja 80 mm:n putkilla.

Kuvaan 25 on piirretty yllä mainituille putkille saadut $h_f/L-Q$ -käyrät sekä vesirakennuslaboratoriossa suoritettujen kokeiden perusteella että ruotsalaisten tutkimusten mukaan. Halkaisijoiltaan 50 mm:n putkilla mittausmenetelmien ero tulee ilmi siten, että saadut suorat ovat erisuuntaisia. Sen vuoksi suomalainen tutkimus antaa esim. 2 ‰:n kaltevuudella noin 9 % pienemmän ja 100 ‰:n kaltevuudella noin 17 % suuremman virtaama-arvon ruotsalaiseen tutkimukseen verrattuna. Halkaisijaltaan 113 mm:n putkille piirretyt suorat ovat puolestaan samansuuntaisia, mutta sijaitsevat erillään toisistaan. Suomalaiset mittaukset antoivat noin 11 % suuremmat virtaama-arvot kaltevuuden ollessa molemmissa tapauksissa saman.

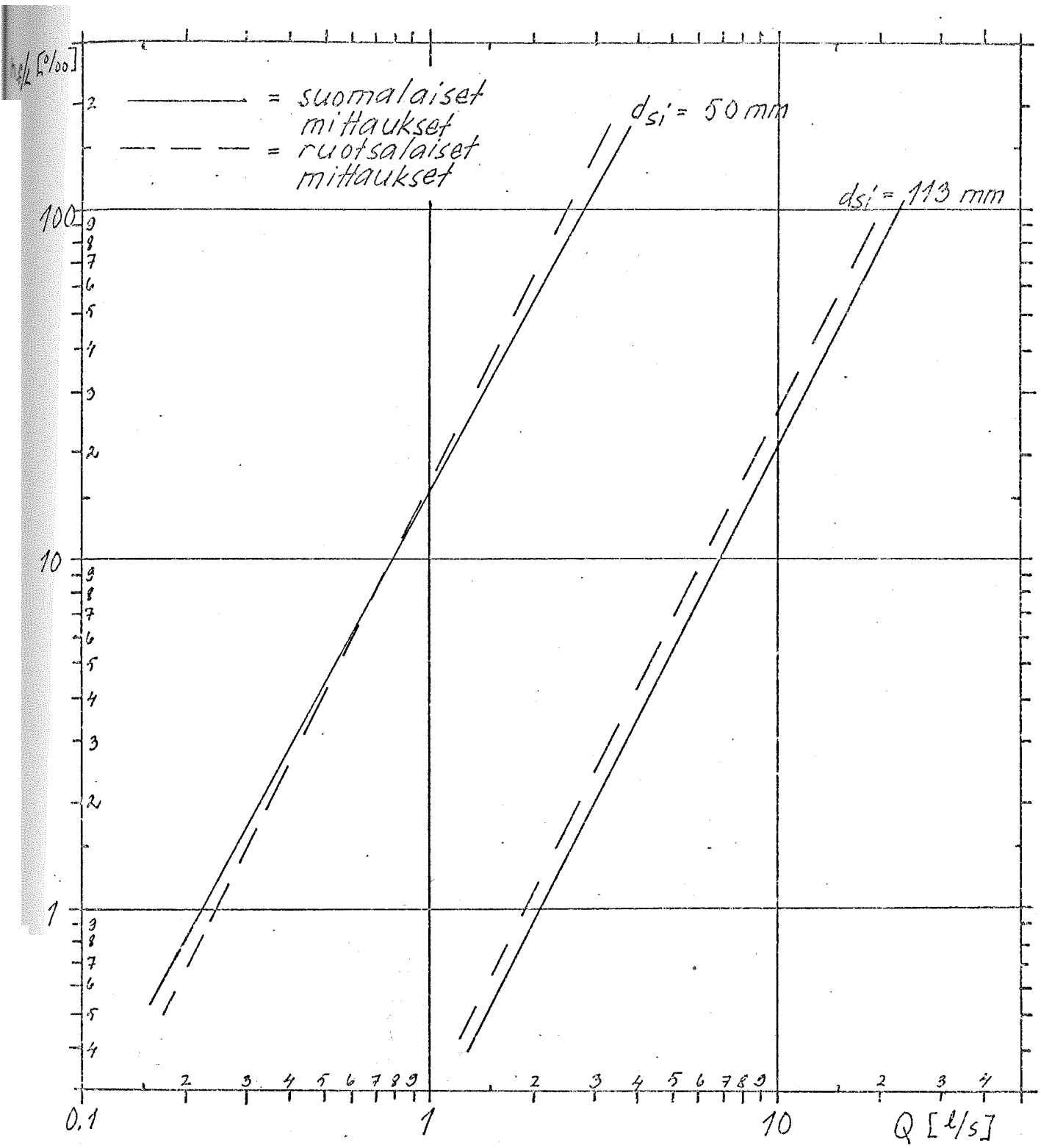
Koska koemenetelmien oleellinen ero oli ainoastaan tiivistystavassa, voi tuloksissa havaittuun eroon jälleen olla syynä reikien läpi virtaava vesi. Tähän viittaa myös se, että erot ovat samansuuntaisia kohdassa 7.3.1 esitettyjen, tiivistysmenetelmästä aiheutuvien erojen kanssa. Tämä voidaan todeta vertaamalla kuvia 24 ja 25.

7.4 Korrugoinnin vaikutus

7.4.1 Korrugoinnin syvyys

Tarkasteltaessa kuvaa 19 havaitaan, että kitkakerroin pienenee putkikoon kasvaessa. Ainoastaan 160 mm:n putkelle saatu kuvaaja poikkeaa tästä säännöstä. Taulukossa 8 on esitetty korrugoinnin suhde putken halkaisijaan.

Havaitaan, että suhde pienenee aina 80 mm:n putkeen saakka. Samoin pienenee kitkakerroin. 100 mm:n putkella korrugoinnin ja halkaisijan välinen suhde on suurempi kuin edellisellä putkikoolla, mikä johtuu putken eri valmistajasta ja erilaisesta korrugoinnin muodosta. Kitkakerroin oli kahdella viimeksi mainitulla



Kuva 25. Suomalaisen ja ruotsalaisen mittausmenetelmän ero kahdella putkikoolla suoritetujen mittausten perusteella.

Taulukko 8. Muoviputkien korrugoinnin suhde halkaisijaan.

d mm	$\frac{d_o - d_i}{2} \frac{l}{d_i} = \frac{t}{d_i}$
40	0.075
50	0.056
65	0.054
80	0.050
100	0.053
130	0.046
160	0.052

putkella likimain sama. Tätä samaa suuruusluokkaa on myös 130 mm:n putkelle saatu kitkakerroin, vaikka korrugoinnin suhde halkaisijaan pieneneekin huomattavasti 100 mm:n putkeen verrattuna. Suurimmalle putkikoolle laskettu seinämän suhteellinen paksuus suurenee jälleen seuraavaksi pienempään putkikokoon verrattuna. Samoin suurenee myös 160 mm:n putkelle saatu kitkakerroin.

Edellä esitetystä kitkakertoimen ja korrugoinnin suhteellisen syvyyden välisestä riippuvuudesta voidaan päätellä, että korrugoinnin suuruudella on oleellinen vaikutus putken vedenjohtokykyyn. Korrugointi vaikuttaa samoin kuin putken seinämän ekvivalentti karkeus k . Karkeus k ei kuitenkaan ole yhtä kuin korrugoinnin syvyys, mikä puolestaan johtuu korrugoinnin aaltomaisuudesta ja pyöristetyistä harjoista. Nämä mahdollistavat virtauksen osittain myös aallon sisällä.

7.4.2 Korrugoinnin muoto

TKK:n vesirakennuslaboratoriossa tehtyjen kokeiden perusteella oli mahdollista verrata rengasmaisen ja spiraalimaisen korrugoinnin

vaikutusta virtaukseen. Mittaukset suoritettiin halkaisijaltaan 50 mm:n putkilla molemmilla putkityypeillä. Kuvassa 26 on esitetty molempien putkien vedenjohtokyky.

Kuvasta nähdään, että spiraalimainen korrugointi parantaa vedenjohtokykyä pienillä vedennopeuksilla. Virtaamaa lisäävä vaikutus on esim. 0.5 %:n kaltevuudella 8 % ja 1 %:n kaltevuudella 5 %. Korrugoinniltaan spiraalimaiselle putkelle saadun $h_f/L-Q$ -suoran kulmakerroin on 4 % suurempi kuin korrugoinniltaan rengasmaiselle putkelle saadun suoran kulmakerroin.

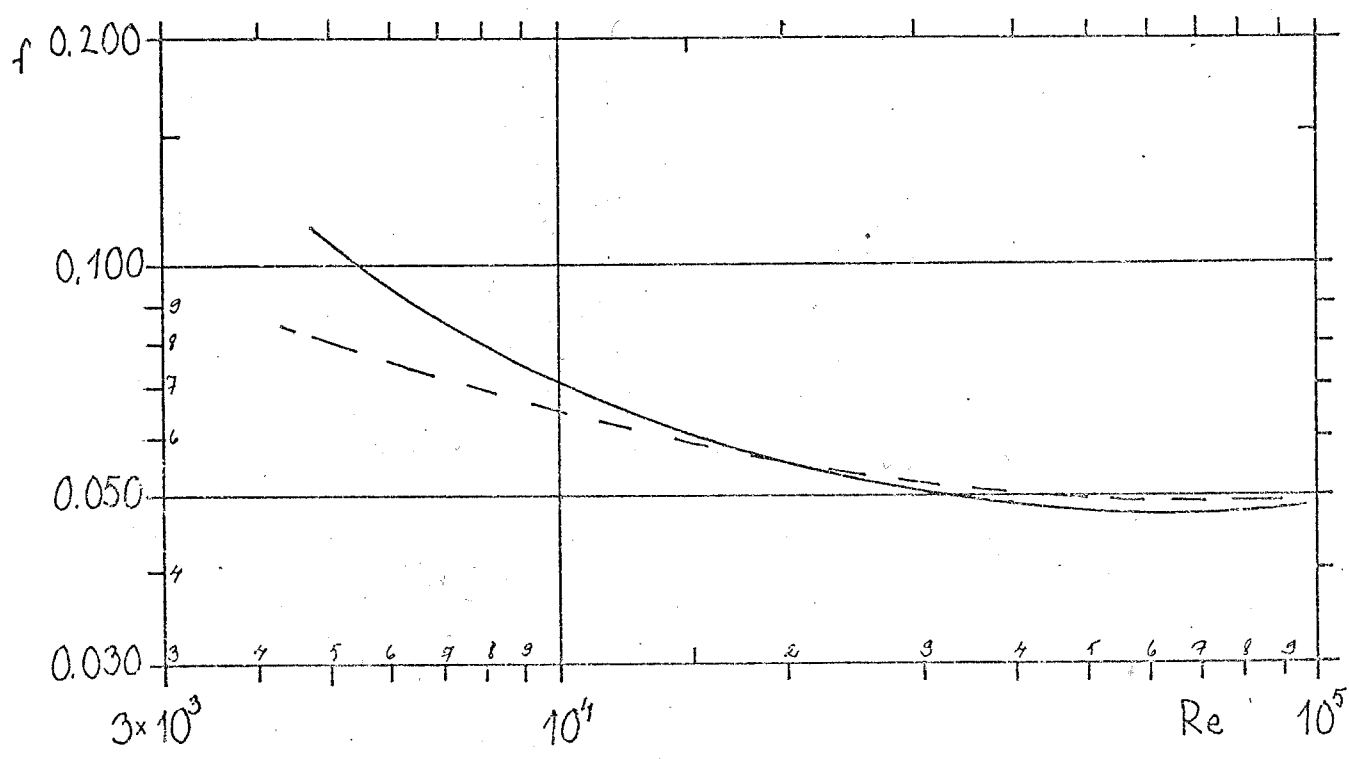
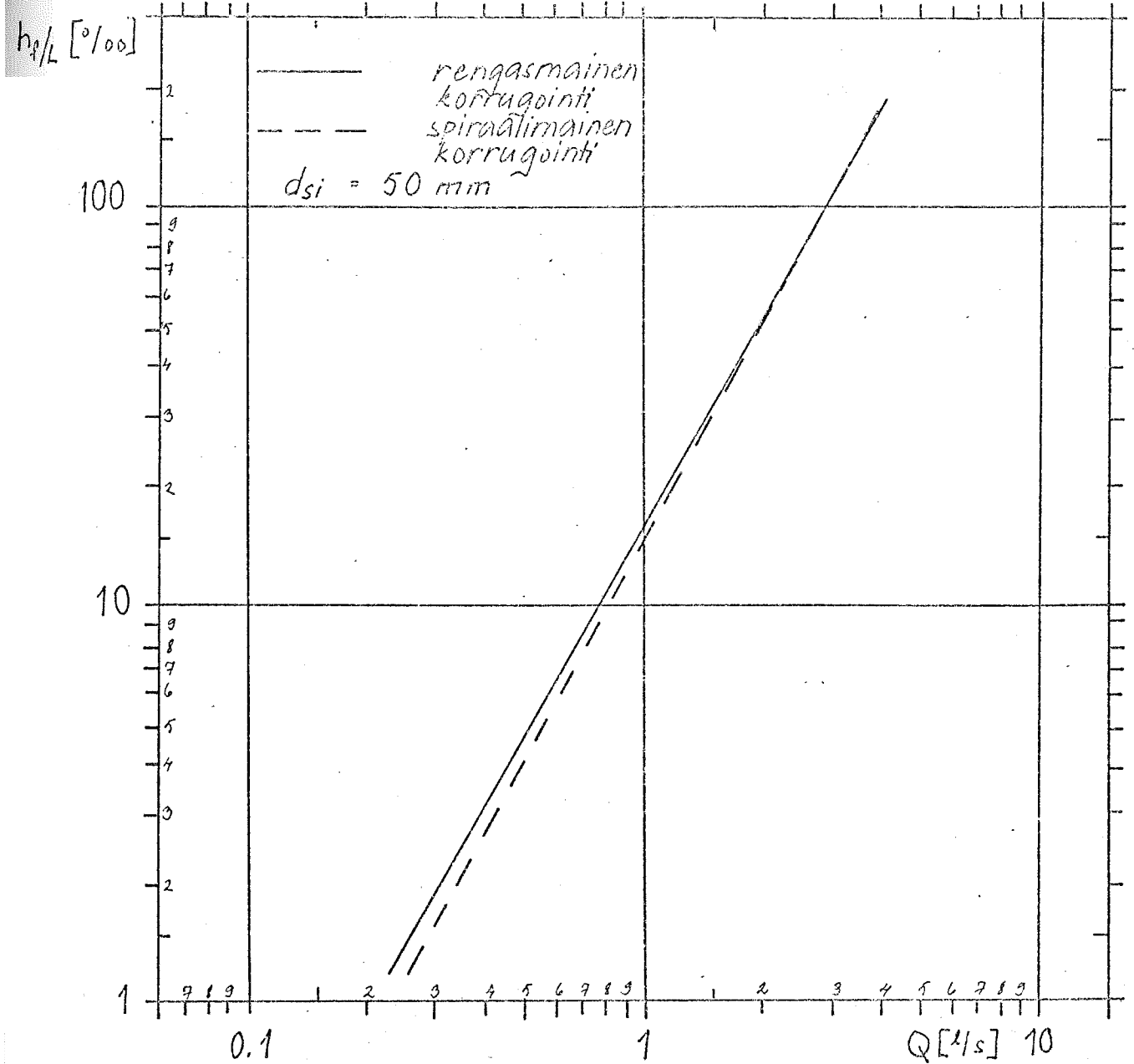
7.5 Tiiliputkien saumojen vaikutus

Tiiliputkien saumoissa tapahtuvat laajentumis- ja supistumishäviöt ovat sitä merkittävämmät, mitä suuremmat ovat putkien poikkeamat toistensa suhteen. TKK:n vesirakennuslaboratoriossa suoritetuissa kokeissa riippui poikkeamien suuruus sisä- ja ulkoputken väljyydestä. Taulukossa 9 on esitetty kullakin tiiliputkella käytettyjen suojaputkien sisähalkaisijat ja laskettu putkien väljyys vähentämällä ulkoputken sisähalkaisijasta tutkittavan putken ulkohalkaisija.

Taulukosta 9 nähdään, että putkien väljyys kasvaa putkikoon suurenessa. Poikkeamien syntyminen putkilinjaan on tällöin suurilla

Taulukko 9. Tiiliputkilla käytetyn ulkoputken väljyys.

d_{si} mm	t mm	d_{so} mm	d_{ui} mm	$d_{ui} - d_{so}$ mm
41.5	9.5	60.5	65.0	4.5
52.0	10.6	73.2	81.2	8.0
67.0	12.8	92.6	99.3	6.7
80.9	14.6	110.1	128.6	18.5
101.4	15.9	133.2	159.0	25.8
135.7	19.3	174.3	190.0	15.7
162	20.6	203.2	230.0	26.8



Kuva 26. Rengasmaisen ja spiraalimaisen korrugoinnin vaikutus vedenjohtokykyyn halkaisijaltaan 50 mm:n putkella.

putkilla todennäköisempää kuin pienimmillä putkilla. Poikkeamista aiheutui siten mittauspisteiden hajonta vedenjohtokykyä kuvaavissa käyrissä. Putkien siirtyminen toistensa suhteen on salaojissa hyvin tyypillinen ilmiö. Tässä mielessä voidaan suoritettujen kokeiden tuloksia sellaisenaan soveltaa tarkasteltaessa tiilisalaojissa tapahtuvaa virtausta.

8. JOHTOPÄÄTELMIÄ

Helsingin Teknillisessä korkeakoulussa suoritettun hydraulisen koesarjan avulla selvitettiin tavallisimpien salaojaputkien vedenjohtokykyä. Tätä ominaisuutta kuvataan virtaaman riippuvuutena putkessa tapahtuvasta painehäviöstä. Salaojissa painehäviötä vastaa ojan kaltevuus. Vedenkuljetuskapasiteettia voidaan kuvata myös putkessa tapahtuvan, kitkasta aiheutuvan energiahäviön avulla.

Korrugoitujen muovisalaojaputkien vedenjohtokyky paranee vedennopeuden suurenessa, sillä kitkahäviökerroin pienenee Re-luvun kasvaessa. Kitkahäviökerroin on Re-luvun ollessa 10^4 keskimäärin 0.065 ja asettuu sitten arvoon 0.045, kun Re-luku ylittää arvon 5×10^4 . Virtaus muovisalaojaputkissa edustaa siten virtausta hydraulisesti karkean alueen ja siirtymäalueen rajoilla, jolloin vedenjohtokyky riippuu sekä vedennopeudesta että putken suhteellisesta karkeudesta.

Tiiliputkilinjassa syntyy tavallisesti lukuisia supistumis- ja laajentumishäviöitä kitkahäviön ohella. Nämä sisältyvät tiiliputkille saatuun kitkahäviökertoimeen. Paikallishäviöiden osuutta kitkahäviöstä ei pyritty erittelemään, sillä niitä aiheuttavat poikkeamat kuuluvat oleellisesti todelliseen salaojaan. Edellä esitetty huomioon ottaen on tiiliputkien kitkakerroin Re-luvun ollessa 10^4 noin 0.037. Kitkakerroin ei saavuta selvästi mitään vakioarvoa tutkimusalueen rajoissa, vaan pienenee jatkuvasti hieman Re-luvun kasvaessa. Kun Re-luku on 10^5 , on tiiliputkien kitkakerroin keskimäärin 0.020. Virtaus tiiliputkissa sijoittuu siirtymäalueelle lähelle hydraulisesti sileää aluetta.

Muoviputkille laadittu, puhtaasti laboratorio-olosuhteissa tehtyihin mittauksiin perustuva nomogrammi vastaa likimain tällä hetkellä käytössä olevaa mitoitusnomogrammia. Ensin mainitussa käyrästä ei ole huomioitu minkäänlaisia varmuustekijöitä, kuten

ei myöskään tiiliputkille laaditussa nomogrammissa. Tiiliputkille saatu nomogrammi erosi käytössä olevasta nomogrammista erittäin selvästi. Tästä ei kuitenkaan ole syytä tehdä toisaalta sellaista johtopäätöstä, että Kutterin kaavaan perustuva nomogrammi on laadittu väärin perustein tai toisaalta, että mittaustulokset ovat täysin erheelliset. Kutterin kaava sisältää huomattavan suuren varmuuden. Toiseksi laboratoriokokeissa ei ollut mukana salaojiin oleellisesti kuuluvaa maata, joka vaikuttaa liettymien, tukkeumien yms. kautta putkiojien vedenjohtokykyä alentavasti. Tapauksesta riippuen voitaisiin harkita aikaisemman nomogrammin tarkistamista. Salaojien todellisen vedenjohtokyvyn selvittämiseksi olisi syytä järjestää usean vuoden kestäviä kenttäkokeita. Tällöin saataisiin tuloksiin mukaan ajan myötä tapahtuva vedenjohtokyvyn huononeminen.

Muovisalaojaputkien reikien kautta sisään ja ulos virtaava vesi huonontaa vedenjohtokykyä ainoastaan pienillä vedennopeuksilla. Tällöinkin sen vaikutus on vähäinen. Samoin on oletettavasti laita tiiliputkiojissa. Kun vielä otetaan huomioon reikien osittainen tukkeutuminen maassa, ei sisään virtaavalla vedellä ole merkitystä vedenjohtokykyyn.

Muoviputkien ekvivalentti karkeus ei ole yhtä kuin korrugoinnin syvyys kuten voitaisiin olettaa. Aaltojen pyöristetyt harjat mahdollistavat virtauksen osittain myös korrugoinnin sisällä.

Korrugoinnin tyypillä on merkitystä putken vedenjohtokykyyn. Spiraalimainen korrugointi lisää hieman putken kuljettaman veden määrää, mikä erottuu vedennopeuksien ollessa pieniä. Suurilla vedennopeuksilla eroa spiraalimaisen ja rengasmaisen korrugoinnin välillä ei voida havaita.

Ainoastaan tähän tutkimukseen vedoten ei ole syytä lähteä päättämään käytettyjen putkimateriaalien absoluuttista paremmuusjärjestystä. Laboratorio-olosuhteissa saatuihin tuloksiin on suhtauduttava kriittisesti, sillä koe-olosuhteet ovat ihanteelliset verrattuna todellisiin salaojissa vallitseviin olosuhteisiin.

TIIVISTELMÄ

Salaojaputkien oikealla mitoituksella taataan salaojille asetetun tehtävän toteutuminen ja vähennetään putkien tukkeutumisriskiä. Putkien mitoitusperusteet ovat valuma ja vedennopeus. Näiden avulla määrätään ojissa tarvittava kaltevuus ja putkikoko Keson laatimasta nomogrammista.

Virtaus salaojaputkissa noudattaa yleisen putkivirtauksen lakeja. Tiiliputkivirtauksessa on paikallishäviöiden osuus energiahäviöstä huomattava, koska tiiliputkilinjassa on useita saumoja. Näissä syntyy supistumis- ja laajentumishäviöitä johtuen tiiliputkien erilaisesta poikkileikkausalasta ja putkien poikkeamisesta linjasta. Muoviputkien energiahäviö muodostuu pääasiassa kitkahäviöstä.

Helsingin Teknillisessä korkeakoulussa toteutettiin koesarja kotimaisten Veto-salaojaputkien ja tiiliputkien vedenjohtokyvyn määrittämiseksi. Lisäksi tutkittiin samalla koemenetelmällä kaksi Lubonyl-putkikokoa. Koemenetelmä valittiin aikaisempien vastaavanlaisten tutkimusten perusteella, jotka esittelään yhteenvedon-omaisesti tuloksineen.

TKK:n vesirakennuslaboratoriossa tehdyissä kokeissa mitattiin tapahtuva painehäviö vettä täynnä virtaavassa putkessa. Vedennopeudet olivat 0.2 - 2.0 m/s. Putkien reiät tiivistettiin siten, että reiällinen putki sijoitettiin reiättömän suojaputken sisään. Virtaus näiden putkien välisessä tilassa estettiin. Mittaushavaintojen perusteella esitetään hydraulisen gradientin ja virtaaman välinen riippuvuus kullakin putkikoolla. Havainnoista lasketaan putkien kitkahäviökerroin Re -luvun funktiona.

Muoviputkien kitkakertoimeksi saadaan noin 0.065, kun Re -luku on 10 000 ja noin 0.045, kun Re -luku on suurempi tai yhtä suuri kuin 50 000. Virtaus muoviputkissa sijoittuu siten hydraulisesti karkean ja siirtymäalueen rajoille.

Tiiliputkien kitkakerroin on tulosten perusteella noin 0.037, kun Re-luku on 10 000 ja noin 0.020, kun Re-luku on 100 000. Tutkimusalueella tiiliputkien kitkakerroin pienenee tasaisesti. Virtaus tiiliputkissa tapahtuu siirtymäalueella lähellä hydraulisesti sileää aluetta.

Sekä muovi- että tiiliputkille laadittiin mitoitusnomogrammit tulosten perusteella. Muoviputkille saatu nomogrammi vastaa melko hyvin Keson laatimaa nomogrammia, kun taas tiiliputkille saatu nomogrammi antaa huomattavasti parempia tuloksia em. verrattuna.

Reikien kautta sisäänvirtaavalla vedellä ei ole huomattavaa merkitystä putken vedenjohtokykyyn reiättömällä ja reiällisellä putkella tehtyjen mittausten perusteella. Spiraalimainen korrugointi parantaa hieman vedenjohtokykyä, kun vedennopeudet ovat alhaisia. Suurilla vedennopeuksilla eroa spiraalimaisen ja rengasmaisen korrugoinnin välillä ei havaita.

ENGLISH SUMMARY

The function of drains is guaranteed and the risk of clogging is reduced by dimensioning the drain pipes correctly. The dimensioning is based on the runoff values and the velocity in pipes. With the help of these the slope of drains and the pipe size are determined from the nomogramm made by Keso.

The flow in drain pipes follows the laws of general pipe flow. Because of the numerous joints in the line of drain tiles the part of the local head losses in the energy loss is remarkable. In the joints the diameter differences between tiles and displacements in the drain cause expansion and contraction losses of pressure head. The loss of pressure head in plastic drain pipes is mainly friction loss.

In the Helsinki University of Technology experiments were carried out in order to determine the hydraulic conductivity of drain tiles and of plastic drain pipes called Veto. Also two sizes of Lubonyl drains were examined with the same experiment procedure. The procedure was chosen on the base of former experiments of the same kind. These experiments and their results are summarized.

In the experiments the loss of pressure head in the pipe full of flowing water was measured. The velocities were 0.2 - 2.0 m/s. The perforations were sealed by putting the normal drain pipe in another unperforated pipe. The flow between these pipes was prevented. The results for every pipe size are presented in logarithmic graph of flow rate and hydraulic gradient. The friction loss factor and the Reynolds number were counted from the observations.

The friction factor for plastic drain pipe is about 0.065 when Re is 10^4 and about 0.045 when Re is greater or equal to

5×10^4 . The flow in plastic drain pipes happens so between the transition zone and the hydraulic rough zone.

The friction factor for drain tiles according to observations is about 0.037, when Re is about 10^4 and 0.020, when Re is 10^5 .

In the examination area the friction factor for drain tiles decreases uniformly. The flow in drain tiles happens in the transition zone near the hydraulical smooth zone. The nomogramm for dimensioning was made for both plastic and clayware drain pipes according to the observations. The nomogramm for plastic pipes corresponds quite well with the nomogramm by Keso as for the nomogramm for drain tiles gives considerably better results than the one by Keso.

The water flowing in through the perforations has no remarkable effect on the hydraulic conductivity according to the observations made with perforated and unperforated pipes. Spirally corrugated pipe has a little better carrying capacity when the velocity is low. It can't be noticed any difference between the spirally and concentrically corrugated pipes with high velocities.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- 1 HUIKARI, O., MUOTIALA, S. & WÄRE, M., Ojitusopas. 2. p. Helsinki 1964. 24 s.
- 2 MUOTIALA, S., Tulvasuojelu, maankuivatus ja kastelu. RIL 92, Vesirakennus. Helsinki 1973. ss. 189 - 233.
- 3 HALLAKORPI, I. A., Maatalouden vesirakennus. Porvoo 1932. 357 s.
- 4 HOSIA, L., Hydraulikka. RIL 92, Vesirakennus. Helsinki 1973. ss. 75 - 119.
- 5 KAUFMANN, W., Fluid mechanics. New York, 1973. 432 s.
- 6 BRATER, E. F., KING, H. W., Handbook of hydraulics. 6. p. New York, 1976. 606 s.
- 7 ERIKSSON, J., Översikt av teori och undersökningar beträffande vattenföringen hos tegelrör, släta plaströr och korrugerade plaströr. Inst. för lantbrukets hydroteknik, Lantbrukshögskolan, Uppsala, Moniste. 11 s.
- 8 ERIKSSON, J., Vattenföringen i dräneringsledning av tegel och plast. Grundförbättring, 1966: 2. ss. 185 - 190.
- 9 DE WIT, C. T., Water transport in drains as influenced by tile alignment. Netherlands journal of agricultural science 5 (1957): 3. ss. 149 - 156.
- 10 BRINK, N., NILSSON, S., Das Leistungsvermögen von Dränrohren aus Kunststoff. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 6 (1965.) ss. 44 - 51.
- 11 HERMSMEIER, L. F., WILLARDSON, S., Friction factors for corrugated plastic tubing. Journal of the irrigation and drainage division, IR3, 1970: Sept., paper 7531, ss. 265 - 271.
- 12 DENNIS, C. W., Hydraulic characteristics of plastic land drainage pipe. Proc. Inst. Civ. Eng. (London) 55 (1973): March, Technical note 75. ss. 273 - 284.
- 13 Hydraulisches Widerstandsverhalten von Kunststoff-sickerleitungsrohren NW 100. Institut für hydraulik und hydrologie der TH Darmstadt, Bericht Nr. 164.b - 73. 16 s.

- 14 DAHL, N. J., Hydraulic testing of drain pipes. Danish standards association, 1976: March. 9 s.
- 15 ISO, Determination of hydraulic capability. 1976. 6 s.
- 16 Lubonyl dräneringsrör. Tuote-esite.

LIITELUETTELO

- LIITE 1: Tiiliputkien koestusselostukset.
- LIITE 2: Esimerkki piirturin näytöstä yhden mittauspäivän aikana.
- LIITE 3: Mittaustulokset muoviputkilla tehdyistä kokeista.
- LIITE 4: Mittaustulokset tiiliputkilla tehdyistä kokeista.
- LIITE 5: Nystöröitten vaikutuksen arvioiminen kahdella putki-koolla.
- LIITE 6: Kahden reiättömänä valmistetun, nystyrättömän putken mittaustulokset.
- LIITE 7: Kahden ruotsalaisen putken mittaustulokset.

TIILIPUTKIEN KOESTUSSELOSTUKSET.

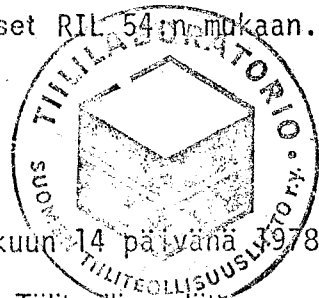
Tilaaaja: Suortti/Maunula
Tilaus: 11.04.1978.
Näytteet: 10 kpl tiiliputkia, Ø 40 mm, pituus mm 333
Tehtävä: Tiiliputkitutkimus.

TULOKSET

No	Pituuden poikkeama mm	Sisäläpimitta		Soikeus mm	Seinämän paksuus		Käyryys mm	Pään viistous mm	Raaste mm	Jalan leveys mm	Murto-voima kN *)
		suurin mm	pienin mm		suurin mm	pienin mm					
1	+0	42,4	40,7	1,7	10,0	9,0	1,15	1,35	0,97		
2	+4	41,6	41,0	0,6	9,8	9,3	1,22	0,9	0,87		
3	+1	42,0	40,3	1,7	9,7	9,0	1,95	1,32	0,57		
4	+2	42,1	41,2	0,7	9,8	9,2	1,68	1,33	0,80		
5	+2	42,1	40,9	1,0	10,0	9,0	1,60	1,25	0,73		
6	+1	41,9	41,1	0,8	9,5	9,0	1,12	1,27	0,97		
7	+3	42,5	40,7	0,8	10,0	9,0	1,62	1,73	0,87		
8	+0	41,9	40,9	1,0	9,7	9,3	1,71	1,62	0,67		
9	+1	41,9	41,0	0,9	9,9	9,0	1,18	1,19	1,00		
10	+0	41,9	40,7	1,2	10,0	9,6	2,49	0,97	0,57		
**)	-5 +10	44	39	3	13	9	3	2			

Jakelu:

*) 1 kN ≈ 100 kp
**) Laatuvaatimukset RIL 54:n mukaan.



Espoossa

huhtikuun 14 päivänä 1978

Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y.
TIILILABORATORIO

Laboratorion johtaja: *[Signature]*

Tilaaaja: Suortti/Maunula
Tilaus: 11.04.1978.
Näytteet: 10 kpl tiiliputkia, Ø 50 mm, pituus mm 333
Tehtävä: Tiiliputkitutkimus.

TULOKSET

No	Pituuden poikkeama mm	Sisäläpimita		Soikeus mm	Seinämän paksuus		Käyryys mm	Pään viistous mm	Raaste mm	Jalan leveys mm	Murtovoima kN *)
		suurin mm	pienin mm		suurin mm	pienin mm					
1	+14	53,6	50,9	2,7	11,0	10,2	1,24	1,89	0,6		
2	+4	52,5	50,9	1,6	10,8	10,3	1,34	0,96	0,9		
3	+9	52,5	50,9	1,7	10,8	10,2	1,76	2,05	0,9		
4	+1	53,4	49,8	3,3	11,0	10,2	1,41	1,50	0,9		
5	+4	52,8	50,9	1,5	10,9	10,3	1,40	1,21	0,5		
6	+5	53,2	51,1	2,1	11,0	10,2	1,85	2,58	0,9		
7	+3	53,4	50,8	2,6	11,0	10,3	1,95	2,20	0,6		
8	+1	52,8	51,5	1,6	10,9	10,2	1,68	1,95	0,8		
9	+5	53,1	50,9	1,8	11,0	10,1	1,32	2,84	0,9		
10	+3	53,0	51,2	1,8	11,1	10,1	0,69	2,74	1,0		
**)	-5 +10	54	48	4	14	10	3	3			

Jakelu:

*) 1 kN ≈ 100 kp

***) Laatuvaatimukset TIL 54:n mukaan.

Espoossa



huhtikuun 14 päivänä 1978
Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y.
TIILILABORATORIO

Laboratorion johtaja:

M. H. ...

Tilaaaja: Suortti/Maunula
Tilaus: 11.04.1978
Näytteet: 10 kpl tiiliputkia, Ø 65 mm, pituus mm 333

Tehtävä: Tiiliputkitutkimus.

TULOKSET

No	Pituuden poikkeama mm	Sisäläpimitta		Soikeus mm	Seinämän paksuus		Käyryys mm	Pään viilistous mm	Raaste mm	Jalan leveys mm	Murto-voima kN *)
		suurin mm	pienin mm		suurin mm	pienin mm					
1	+2	67,9	66,1	1,8	13,4	12,2	1,87	1,62	0,4		
2	-1	67,6	66,1	1,5	13,6	12,2	1,13	1,81	0,7		
3	+2	68,6	65,9	2,7	13,7	12,2	1,32	2,45	1,1		
4	+1	67,7	66,1	1,6	13,2	12,0	1,55	2,29	0,8		
5	+2	68,7	65,8	2,8	13,4	12,5	1,54	2,14	0,9		
6	+1	68,3	65,1	3,2	13,2	12,2	1,61	2,64	0,6		
7	+1	67,7	66,1	1,6	13,2	12,0	1,81	2,14	0,7		
8	+0	68,4	66,1	2,3	13,4	12,2	0,82	1,25	0,6		
9	+0	68,0	66,0	2,0	13,3	12,3	0,80	1,93	0,7		
10	+3	68,1	66,1	2,0	13,4	12,2	2,32	2,45	0,8		
**)	-5 +10	70	63	5	16	11	3	3			

Jakelu:

*) 1 kN ≈ 100 kp

***) Laatuvaatimukset RIL 54:n mukaan.



Espoossa huhtikuun 14 päivänä 1978

Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y.
TIILILABORATORIO

Laboratorion johtaja: *M. H. ...*

Tilaja: Suortti/Maunula
Tilaus: 11.04.1978.
Näytteet: 10 kpl tiiliputkia, Ø 80 mm, pituus mm 333
Tehtävä: Tiiliputkitutkimus.

TULOKSET

No	Pituuden poikkeama mm	Sisäläpimitta		Soikeus mm	Seinämän paksuus		Käyryys mm	Pään viistous mm	Raaste mm	Jalan leveys mm	Murtovoima kN *)
		suurin mm	pienin mm		suurin mm	pienin mm					
1	+2	82,7	79,6	3,1	15,0	14,4	1,00	1,60	0,8		
2	+1	81,8	79,7	2,1	15,0	14,5	1,15	2,30	0,9		
3	+3	82,5	79,1	3,4	15,0	14,2	1,20	1,40	1,0		
4	+5	82,4	79,1	2,3	14,9	14,3	1,50	2,25	1,0		
5	+2	82,4	80,7	1,6	15,2	14,3	0,30	0,80	0,8		
6	+5	81,9	79,1	1,8	15,0	14,2	1,90	2,85	1,2		
7	+3	81,5	80,3	1,2	14,8	14,2	1,40	2,40	1,0		
8	+3	81,9	79,1	2,8	14,9	14,2	1,00	2,00	1,0		
9	+4	82,3	79,7	2,6	15,0	14,5	1,65	2,45	1,0		
10	+3	81,8	79,4	2,4	14,8	14,2	2,00	2,70	0,8		
**)	-5 +10	86	78	6	18	13	3	4			

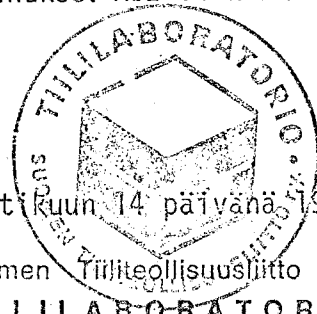
Jakelu:

*) 1 kN ≈ 100 kp
**) Laatuvaatimukset RIL 54:n mukaan.

Espoossa

huhtikuun 14 päivänä 1978

Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y.
TIILILABORATORIO



Laboratorion johtaja: *M. H. Maunula*

Tilaaaja: Suortti/Maunula
Tilaus: 11.04.1978.
Näytteet: 10 kpl tiiliputkia, Ø 100 mm, pituus mm 333
Tehtävä: Tiiliputkitutkimus.

TULOKSET

No	Pituuden poikkeama mm	Sisäläpimita		Soikeus mm	Seinämän paksuus		Käyryys mm	Pään viistous mm	Raaste mm	Jalan leveys mm	Murtovoima kN *)
		suurin mm	pienin mm		suurin mm	pienin mm					
1	-2	102,7	99,7	3,0	16,5	15,5	0,90	2,70	0,9		
2	-1	102,6	100,3	2,5	16,6	15,3	0,65	2,75	0,6		
3	-4	103,4	99,7	3,4	16,7	15,2	1,10	1,40	0,9		
4	-4	103,3	98,6	4,5	16,4	15,3	0,55	1,85	0,7		
5	+0	102,5	100,6	1,9	16,6	15,5	1,05	3,10	0,7		
6	-3	105,4	98,1	7,3	16,5	15,2	0,75	1,75	0,8		
7	-3	102,9	100,5	2,4	16,6	15,4	0,50	2,35	0,8		
8	-1	102,5	99,6	2,2	16,5	15,3	1,30	2,50	0,8		
9	-2	102,5	99,5	3,0	16,7	15,3	1,15	3,20	1,0		
10	-4	102,5	100,3	2,2	16,4	15,2	0,55	2,25	0,7		
**)	-5 +10	107	97	7	20	15	3	4			

Jakelu:

*) 1 kN ≈ 100 kp

***) Laatuvaatimukset IRIL 54:n mukaan.



Espoossa

huhtikuun 14 päivänä 1978

Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y.
TIILILABORATORIO

Laboratorion johtaja: *M. Heina*

Tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Tiililaboratoriosta saadun luvan perusteella.

Tilaaja: Suortti/Maunula
Tilaus: 11.04.1978
Näytteet: 10 kpl tiiliputkia, Ø 130 mm, pituus mm 333
Tehtävä: Tiiliputkitutkimus.

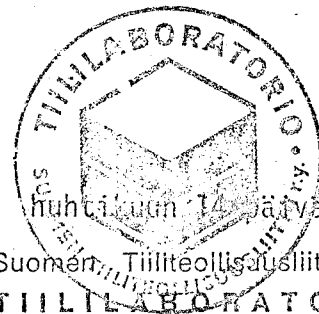
TULOKSET

No	Pituuden poikkeama mm	Sisäläpimitta		Soikeus mm	Seinämän paksuus		Käyryys mm	Pään viistous mm	Reaste mm	Jalan leveys mm	Murtovoima kN *)
		suurin mm	pienin mm		suurin mm	pienin mm					
1	-1	137,6	132,7	4,9	19,6	18,8	1,55	1,40	1,9		
2	+1	136,1	133,4	2,7	21,1	19,6	1,10	1,25	1,1		
3	+2	137,3	132,9	4,4	19,7	19,0	1,80	2,50	1,6		
4	+3	138,1	133,1	5,0	19,8	18,8	1,40	2,70	1,1		
5	+1	139,1	134,1	5,0	19,6	19,2	1,35	2,30	1,4		
6	+6	138,5	134,4	3,9	19,6	19,0	1,75	2,10	1,6		
7	+1	138,1	133,9	4,2	19,6	19,0	1,55	2,30	1,4		
8	+1	138,9	134,1	4,8	19,4	18,8	1,80	2,00	1,2		
9	+1	136,9	132,9	3,9	19,4	18,1	1,25	2,55	1,3		
10	+1	139,3	132,2	6,4	19,6	19,0	1,35	1,55	1,0		
**)	-5 +10	139	126	9	22	16	3	5			

Jakelu:

*) 1 kN ≈ 100 kp

***) Laatuvaatimukset RIL 54:n mukaan.



Espooissa

huhtikuun 14 päivänä 1978

Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y.
TIILILABORATORIO

Laboratorion johtaja: *M. H. ...*

Tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Tiililaboratoriosta saadun luvan perusteella.

Tilaaaja: Suortti/Maunula
Tilaus: 11.04.1978
Näytteet: 10 kpl tiiliputkia, Ø 160 mm, pituus mm 333
Tehtävä: Tiiliputkitutkimus.

TULOKSET

No	Pituuden poikkeama mm	Sisäläpimitta		Soikeus mm	Seinämän paksuus		Käyryys mm	Pään viistous mm	Raaste mm	Jalan leveys mm	Murto-voima kN *)
		suurin mm	pienin mm		suurin mm	pienin mm					
1	+1	164	159	5	22,2	19,4	1,90	3,00	1,2		
2	+1	167	159	8	22,5	19,1	1,55	2,10	1,4		
3	+3	166	157	9	22,2	19,1	1,50	3,30	1,3		
4	-1	166	157	9	22,0	18,9	1,75	3,20	1,2		
5	-1	164	157	7	22,4	19,2	1,10	2,95	1,4		
6	+2	167	158	9	21,7	19,0	1,90	2,80	1,5		
7	+2	164	158	6	22,4	18,8	1,70	2,90	1,0		
8	+2	164	159	5	22,3	19,0	1,00	3,10	1,4		
9	+4	166	158	8	22,3	19,1	1,55	4,50	1,2		
10	+1	168	157	10	22,2	18,8	1,30	3,30	1,4		
**)	-5 +10	170	156	10	24	18	3	6			

Jakelu:

*) 1 kN ≈ 100 kp

**) Laatuvaatimukset - RIL 54:n mukaan.



Espoossa

huhtikuun 14 päivänä 1978

Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y.
TIILILABORATORIO

Laboratorion johtaja: *M. H. Maunula*

ESIMERKKI PIIRTURIN NÄYTÖSTÄ YHDEN MITTAUSPÄIVÄN
AIKANA.

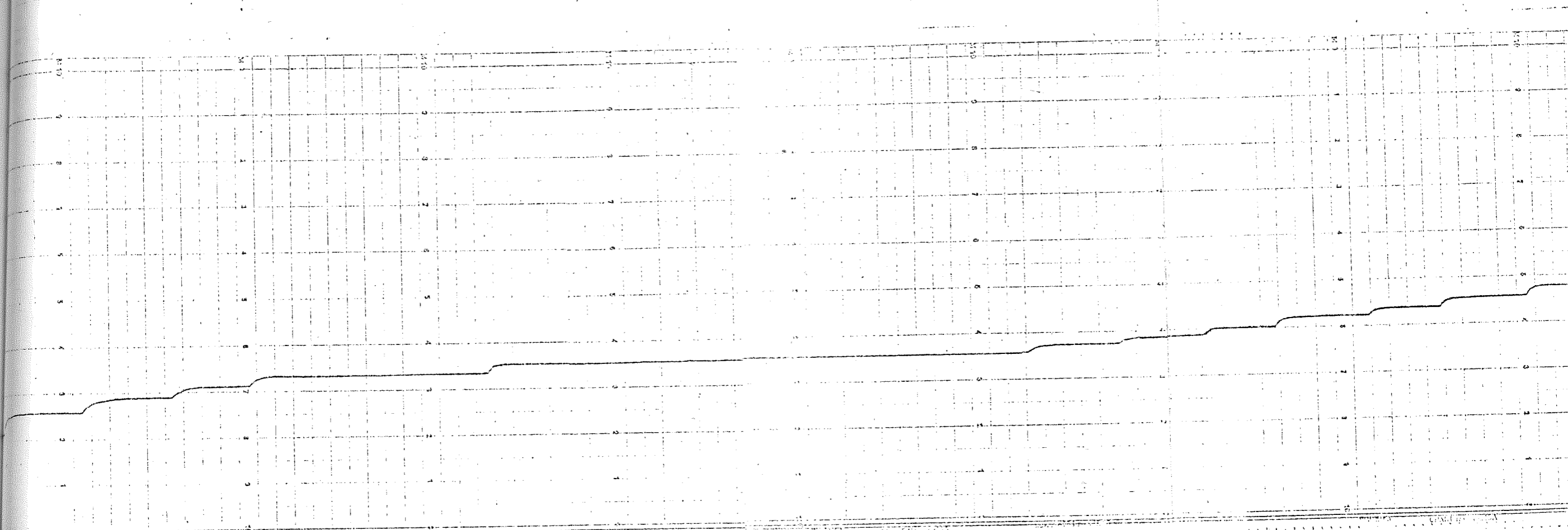
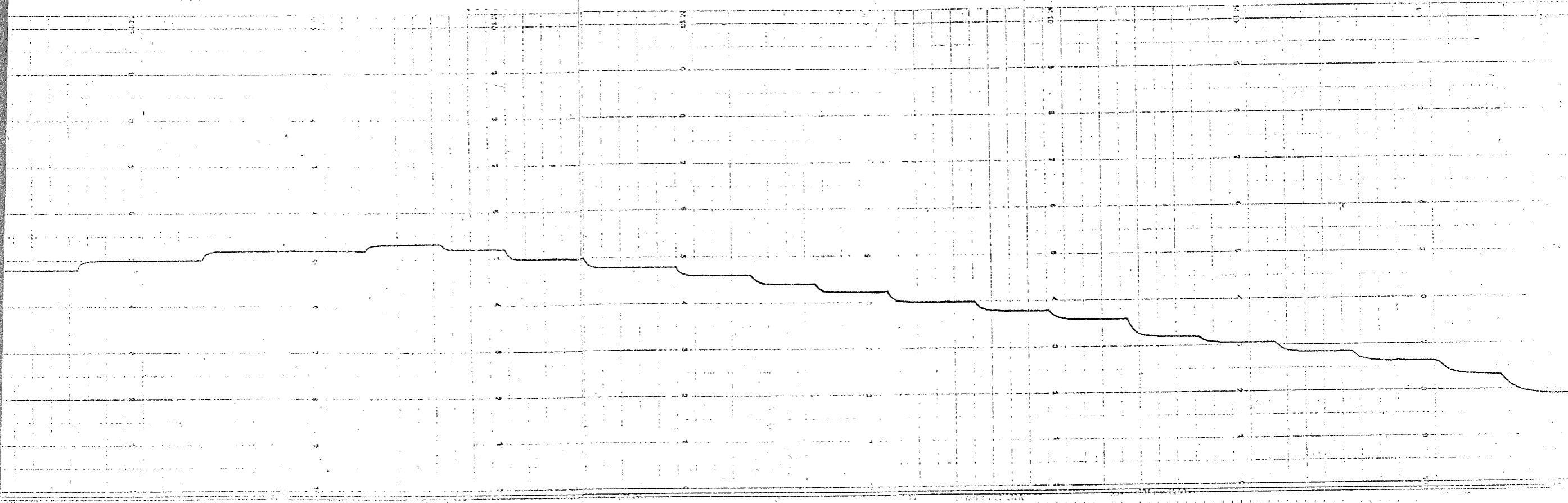


Chart 10. Chart A

Chart 10. Chart A

Chart 10. Chart A



MITTAUSTULOKSET MUOVIPUTKILLA TEHDYISTÄ KOKEISTA.

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööri-osasto
 Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Keto-salaojaputki
 Valmistaja: Oy Nokia AB, Heinola

dsi	40 mm	L ₀	2426 mm
d _{ui}	50 mm	L ₁	2677
Asi	1259 mm ²	L ₂	2685
T	16.0 °C	L ₃	2705
v	1.120.10 ⁻⁶ m ³ /s	ΣL _i	8067 mm
h ₀	64.00		

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ P ₃ P ₄ [%]	P ₁ ² P ₂ ² P ₃ ² P ₄ ² [%]	h _f /L [%]	s [%]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re	f	
58	55	50	44	98.25	34.25	1.1	2.2	1.7	0.6	0.20	1.59	0.57.10 ⁴	0.055
112	100	86	72	106.65	42.65	4.5	5.2	5.0	0.4	0.30	2.39	0.85.10 ⁴	0.069
175	152	127	101	112.40	48.40	8.6	9.9	9.2	0.5	0.40	3.18	1.14	0.091
271	231	188	144	118.50	54.50	14.9	16.0	15.7	0.7	0.55	4.38	1.56	0.064
452	375	300	221	125.55	61.55	28.8	27.9	28.6	0.7	0.75	5.97	2.13	0.063
744	614	484	349	132.25	69.25	47.4	48.1	48.9	1.9	1.00	9.96	2.84	0.061
994	820	642	455	139.75	75.75	65.0	66.3	66.8	2.1	1.20	9.55	3.41	0.057
1488	1221	949	664	144.35	80.35	99.7	101.3	102.2	3.0	1.50	11.93	4.26	0.056
1716	1405	1091	760	147.00	83.00	116.2	116.9	118.5	3.4	1.70	13.52	4.83	0.051
1918	1569	1214	845	148.85	84.85	130.4	132.2	136.4	3.1	1.75	13.92	4.97	0.055
2179	1780	1377	954	151.10	87.10	149.0	150.1	151.8	4.0	1.85	14.72	5.26	0.055
1564	1281	997	697	145.45	81.45	105.7	105.8	110.9	3.0	1.60	12.73	4.55	0.052
1126	927	723	512	139.80	75.80	74.3	76.0	76.1	1.9	1.30	10.34	3.69	0.056
802	664	522	374	134.10	70.10	51.6	52.9	53.1	1.6	1.05	8.35	2.98	0.060
657	547	432	313	131.25	67.25	41.1	42.8	42.6	1.5	0.95	7.56	2.70	0.058
492	412	328	241	126.75	62.75	29.9	31.3	31.2	1.2	0.80	6.36	2.27	0.061
406	342	275	205	124.20	60.20	23.9	24.9	24.9	1.0	0.70	5.57	1.99	0.063
324	275	224	169	121.00	57.00	18.3	18.9	19.2	1.0	0.60	4.77	1.70	0.066
232	200	165	128	116.30	52.30	12.0	13.0	12.9	0.8	0.50	3.98	1.42	0.064
197	171	142	112	114.00	50.00	9.7	10.8	10.5	0.7	0.45	3.58	1.28	0.064
150	133	112	91	110.45	46.45	6.4	7.8	7.3	0.9	0.35	2.78	0.99	0.074
85	80	70	60	102.80	38.80	1.9	3.7	3.1	1.0	0.25	1.99	0.71	0.061

Huomautuksia: _____ Päiväys: Otaniemessä 23.1.1978
Juha Suola

$h_{f/L}$ [‰]

100

10

1

0.1

1

Q [l/s] ¹⁰

x - kasvava virtaama
o - vähenevä virtaama

f

0.100

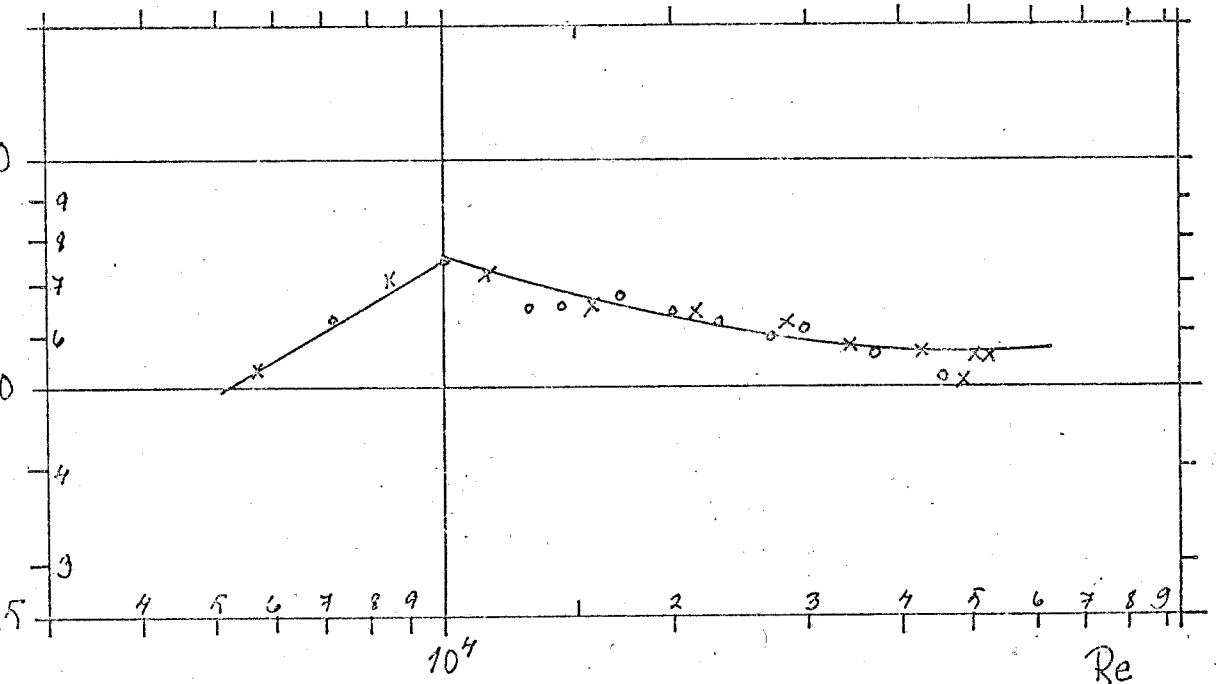
0.050

0.025

10^4

Re

Veto-salaojaputki, $d_{si} = 40$ mm
 $d_{ui} = 50$ mm
 $T = 16.0$ °C



TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriosaisto

Vesitalouden oppitunti

dsi	50 mm	L _a	2520 mm
d _{ji}	65 mm	L ₁	3342 mm
Asi	1963 mm ²	L ₂	3331 mm
T	16,5 °C	L ₃	3376 mm
v	1.105/10 ⁶ m ³ /s	L ₄	10049 mm
h _a	64.00		

Putkityyppi: Veto-salaoliaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h _a [mm]	P _T P ₂ L ₁ [%o]	P _T P ₃ L ₂ [%o]	P _T P ₄ L ₃ [%o]	P _T P ₄ L ₄ [%o]	h _f /L [%o]	s [%o]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ¹ m/s]	Re	f
93	82	71	62	119.30	49.30	3.9	3.9	2.7	3.1	0.3	0.3	0.40	2.04	0.9210 ⁶	0.073
87	76	68	58	112.00	48.30	3.3	2.4	3.0	2.9	0.5	0.5	0.40	2.04	0.9210 ⁶	0.073
191	144	119	93	124.40	60.40	8.1	7.5	7.7	7.8	0.3	0.3	0.70	3.57	1.62	0.060
221	184	148	112	128.90	64.90	11.1	10.8	10.7	10.9	0.2	0.2	0.85	4.33	1.96	0.057
361	293	225	159	137.80	73.80	20.3	20.4	19.5	20.1	0.5	0.5	1.20	6.11	2.76	0.053
566	452	338	226	146.20	82.20	34.1	34.2	33.2	33.8	0.6	0.6	1.60	8.15	3.69	0.050
818	645	474	305	153.20	89.20	51.8	51.3	50.1	51.1	0.9	0.9	2.00	10.19	4.61	0.048
1138	892	645	404	159.90	95.90	73.6	74.2	71.4	73.1	1.5	1.5	2.40	12.23	5.53	0.048
1403	1095	785	484	164.10	100.10	92.2	93.1	89.2	91.5	2.0	2.0	2.90	13.75	6.22	0.047
1760	1390	979	593	169.10	105.10	116.7	118.0	113.7	116.1	2.2	2.2	3.00	15.28	6.91	0.049
1978	1537	1092	658	171.50	107.50	132.0	133.6	128.6	131.4	2.6	2.6	3.20	16.30	7.38	0.049
2161	1698	1190	713	173.55	109.55	144.5	146.5	141.3	144.8	3.0	3.0	3.35	17.07	7.72	0.049
2419	1894	1325	789	176.00	112.00	163.1	164.8	158.8	162.2	3.1	3.1	3.55	18.09	8.19	0.049
1931	1501	1067	643	171.00	107.00	128.7	130.3	125.6	128.2	2.4	2.4	3.20	16.30	7.38	0.047
1599	1230	879	537	166.70	102.70	104.4	105.4	101.3	103.7	2.1	2.1	2.80	14.26	6.45	0.050
799	615	452	292	152.20	88.20	49.1	48.9	47.4	48.5	0.9	0.9	1.95	9.93	4.49	0.048
361	297	229	162	138.10	94.10	19.2	20.4	19.8	19.8	0.6	0.6	1.20	6.11	2.76	0.052
186	157	128	100	125.95	61.95	8.7	8.7	8.3	8.6	0.2	0.2	0.75	3.82	1.73	0.058
114	100	86	72	117.00	53.00	4.1	4.2	4.1	4.1	0.1	0.1	0.50	2.55	1.15	0.062
67	62	57	51	106.90	42.00	1.5	1.5	1.8	1.6	0.2	0.2	0.25	1.27	0.57	0.097

Huomautuksia:

Päiväys: 17.1.1978

Nuude Swartha

h_f/L [°/s]

100

10

1

0.1

1

10

x = kasvava virtaama
o = vähenevä virtaama

f

0.100

0.050

4

5

6

7

8

9

10⁴

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Re

10⁵

Veto-salaojaputki, $d_{si} = 50$ mm
 $d_{ui} = 65$ mm
 $T = 16.5$ °C

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

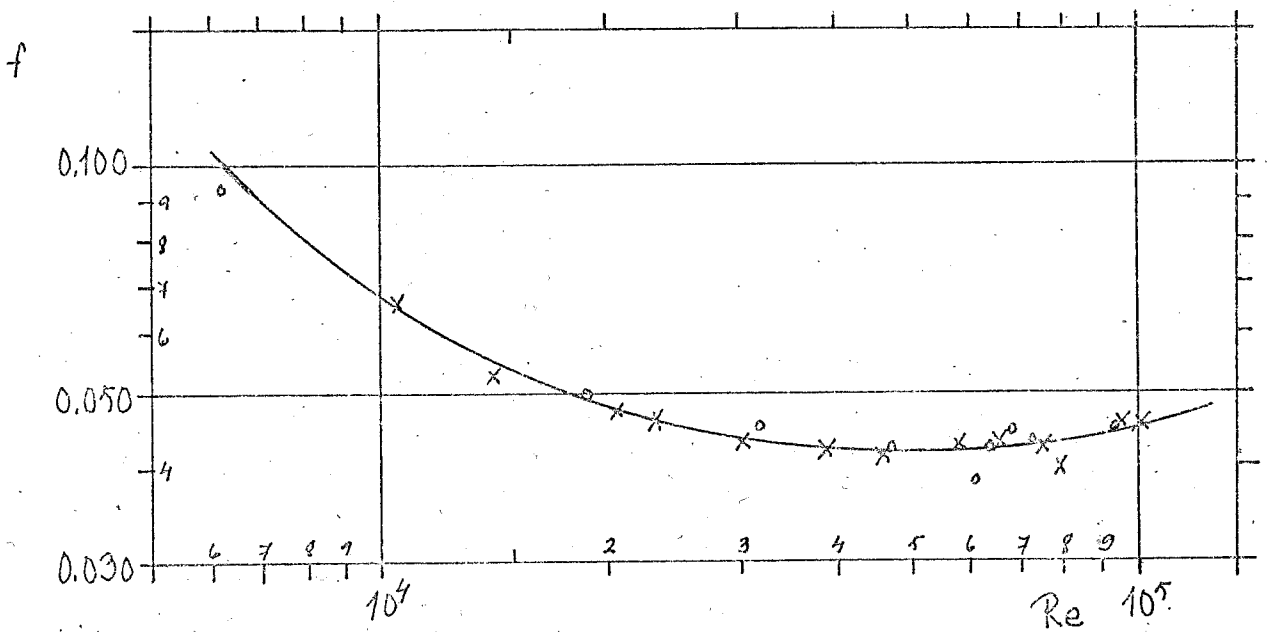
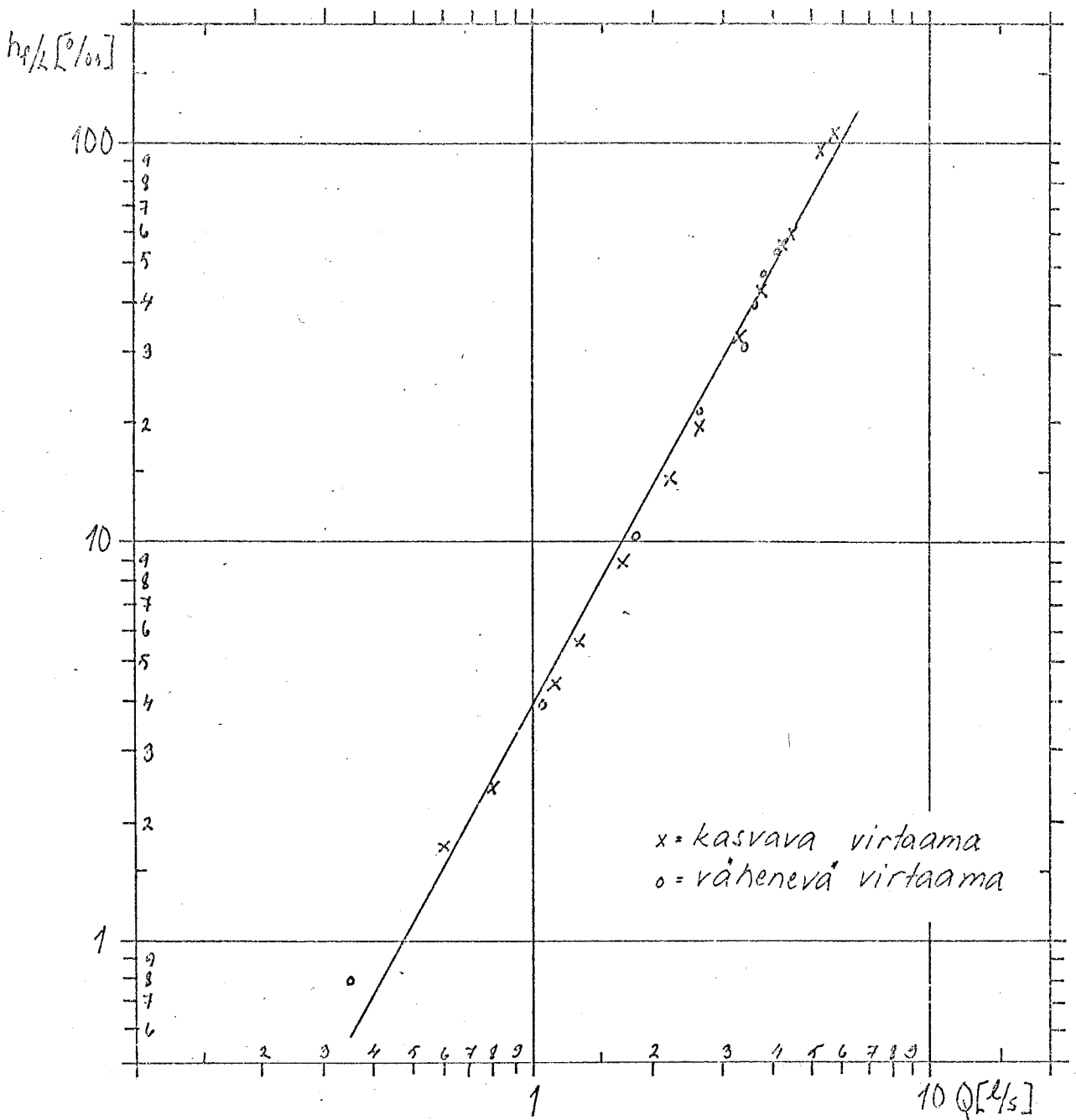
Rakennusinsinööriopisto
Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Veto-salaojaputki
Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

d _{si}	65 mm	L ₀	3550 mm
d _{ul}	81 mm	L ₁	4332
A _{si}	33/8 mm ²	L ₂	4343
T	16.5 L	L ₃	4324
v	1.105 · 10 ⁻⁶ m ²	L ₁	12999
h ₀	64.00	L ₁	

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ L ₁ [%]	P ₂ P ₃ L ₂ [%]	P ₃ P ₄ L ₃ [%]	h ₁ /L ₁ [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re	f
920	820	775	70	181.55	57.55	2.3	1.6	1.2	1.7	0.6	0.60	1.81	106.10	0.066
113	100	90	82	126.55	62.55	3.0	2.3	1.9	2.7	0.6	0.80	2.71	1.72	0.053
164	143	123	106	135.80	71.80	4.8	4.6	3.9	4.7	0.5	1.15	3.97	2.04	0.047
192	167	142	120	139.60	75.60	5.8	5.8	5.1	5.6	0.4	1.30	3.92	2.31	0.046
268	229	189	153	147.50	83.50	9.0	9.2	8.3	8.8	0.5	1.90	5.12	3.01	0.043
394	332	267	206	156.50	92.50	14.3	14.9	14.1	14.4	0.4	2.20	6.63	3.90	0.042
504	421	334	249	162.20	98.20	19.2	20.0	19.7	19.6	0.4	2.60	7.84	4.61	0.041
775	643	498	357	172.45	108.55	30.5	33.4	32.6	32.2	1.5	3.30	9.95	5.85	0.042
985	813	624	438	178.25	114.25	39.7	43.5	43.0	42.1	2.1	3.90	11.15	6.56	0.043
1245	1024	780	539	184.10	120.10	51.0	56.2	55.7	54.3	2.9	4.25	12.81	7.54	0.042
1424	1170	888	680	187.55	123.55	58.6	64.9	64.1	62.2	8.5	4.50	13.56	7.98	0.040
2072	1694	1274	855	197.50	133.50	87.3	96.7	96.9	93.6	5.5	5.40	16.27	9.57	0.045
2348	1917	1439	960	201.00	137.00	99.5	110.1	110.8	106.8	6.3	5.75	17.33	10.19	0.044
2032	1661	1251	839	196.80	132.80	85.6	94.4	95.3	91.8	5.4	5.35	16.12	9.48	0.045
1195	984	753	520	183.05	119.05	48.7	53.2	53.9	51.9	2.8	4.10	12.36	7.27	0.043
1070	882	695	471	180.25	116.25	43.4	47.7	47.2	46.1	2.4	3.85	11.60	6.82	0.044
920	763	588	414	176.60	112.60	36.9	40.9	40.2	39.1	1.9	3.60	10.85	6.38	0.042
953	625	485	348	171.55	107.55	29.5	32.2	31.7	31.1	1.4	3.40	10.25	6.03	0.038
596	448	353	262	163.55	99.55	20.3	21.9	21.0	21.1	0.8	2.65	7.99	4.70	0.042
301	255	209	167	150.00	86.00	10.6	10.6	9.7	10.3	0.5	1.80	5.42	3.19	0.045
150	132	115	100	133.65	69.65	4.2	3.9	3.5	3.9	0.4	1.05	3.16	1.86	0.050
63	57	53	53	110.60	46.60	1.4	0.9	0.0	0.8	0.7	0.35	1.05	0.62	0.093

Huomautuksia: _____
Päiväys: 13.1.1978
Antti Suurk



Veto-salaojaputki, $d_{si} = 65$ mm
 $d_{ui} = 81$ mm
 $T = 16.5$ °C

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Veto-saladiaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

dsi	8 / mm	L ₀	5114 mm
d _{uji}	99 mm	L ₁	5338 mm
Asi	5/53 mm	L ₂	5315 mm
T	15.5 °C	L ₃	5343 mm
ν	1.135 · 10 ⁻⁶ m ² /s	L ₄	15396 mm
h ₀	64.00	L ₅	

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P _L [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ [1%]	P ₁ P ₃ [1%]	P ₂ P ₃ [1%]	P ₃ P _L [1%]	h _f /L [1%]	s [1%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	t
85	81	76	70	129.10	65.10	0.7	0.9	1.1	1.1	0.9	0.2	0.85	1.65	1.18	0.053
146	132	117	99	147.85	83.85	2.6	2.8	3.4	3.4	2.9	0.4	1.70	3.30	2.36	0.042
170	152	132	110	152.65	88.65	3.4	3.8	4.1	4.1	3.8	0.4	2.00	3.88	2.77	0.040
245	210	176	138	163.45	99.45	6.6	6.4	7.1	7.1	6.7	0.4	2.65	5.14	3.67	0.040
314	265	215	162	170.90	106.90	9.2	9.4	9.9	9.9	9.5	0.4	3.10	6.02	4.30	0.041
397	329	262	190	177.50	113.50	12.7	12.6	13.5	13.5	12.9	0.5	3.65	7.08	5.05	0.040
447	368	290	207	180.80	116.80	14.8	14.7	15.5	15.5	15.0	0.4	3.90	7.57	5.40	0.041
493	403	315	221	183.75	119.75	16.9	16.6	17.6	17.6	17.0	0.5	4.10	7.96	5.68	0.042
648	523	400	290	191.90	127.90	23.4	23.1	24.3	24.3	23.6	0.6	4.85	9.41	6.72	0.042
761	610	462	304	196.70	132.70	28.3	27.9	29.6	29.6	28.6	0.9	5.30	10.29	7.94	0.043
907	722	540	348	202.05	138.05	34.7	34.2	35.9	35.9	34.9	0.9	5.90	11.45	8.17	0.042
1037	820	609	385	206.40	142.40	40.7	39.7	41.9	41.9	40.8	1.1	6.30	12.23	8.73	0.043
1197	942	692	428	210.90	146.90	47.7	47.0	49.4	49.4	48.0	1.2	6.85	13.29	9.48	0.043
1341	1052	769	469	214.40	150.40	54.1	53.2	56.1	56.1	54.5	1.5	7.30	14.14	10.11	0.043
1604	1251	907	543	220.35	156.35	66.1	64.7	68.1	68.1	66.3	1.7	7.90	15.33	10.94	0.044
1842	1432	1032	609	225.00	161.00	76.8	75.3	79.2	79.2	77.1	2.0	8.50	16.50	11.78	0.044
2049	1588	1139	665	228.20	164.20	86.4	84.5	88.4	88.4	86.5	2.1	9.00	17.47	12.47	0.044
2312	1787	1273	733	232.50	168.50	98.4	96.7	101.1	101.1	98.7	2.2	9.60	18.63	13.30	0.044
1693	1321	957	567	222.35	158.35	70.6	69.0	72.4	72.4	70.7	1.7	8.25	16.01	11.43	0.044
1412	1105	805	486	216.35	152.35	59.5	56.4	59.7	59.7	57.9	1.7	7.50	14.55	10.38	0.043
1188	934	686	423	210.80	146.80	47.6	46.7	49.2	49.2	47.8	1.3	6.75	13.10	9.35	0.044
887	705	528	340	201.20	137.20	34.1	33.3	35.2	35.2	34.2	1.0	5.75	11.16	7.96	0.044
752	602	455	300	196.25	132.25	28.1	27.7	29.0	29.0	28.3	0.7	5.25	10.19	7.27	0.043
592	464	358	245	188.25	124.25	20.2	19.9	21.1	21.1	20.4	0.6	4.55	8.83	6.30	0.042

Huomautuksia:

Päiväys: 26.1.1978

Niilla Suorh

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriosaosto
Vesitalouden oppituoli:

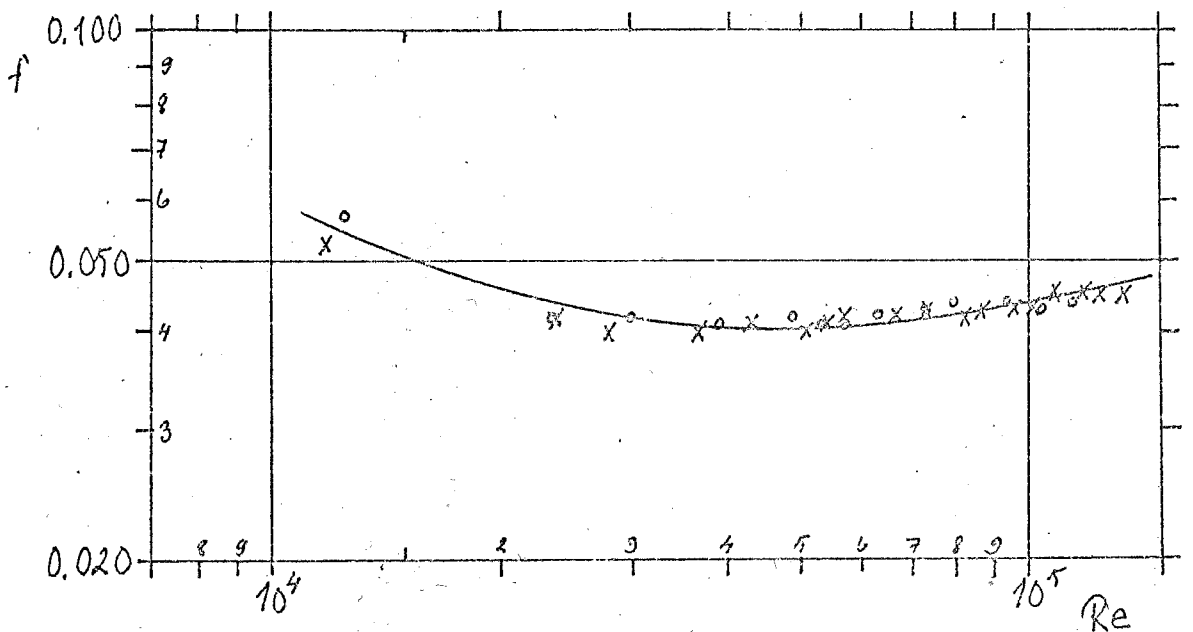
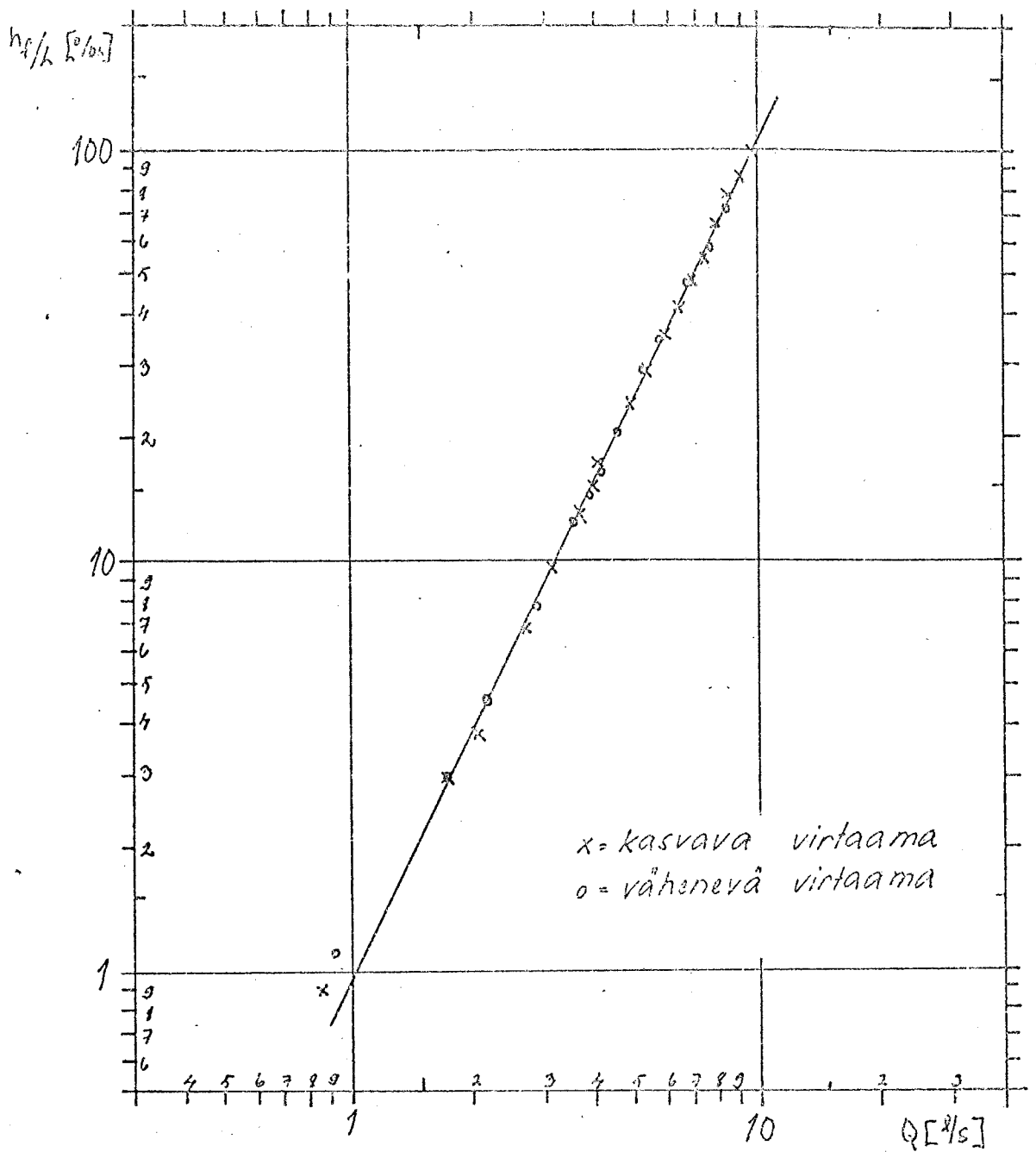
Putkityyppi: Veto-salaojaputki
Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

d_{si}	8/ mm	L_0	5114 mm
d_{ji}	99 mm	L_1	5338 mm
A_{si}	5153 mm ²	L_2	5315 mm
T	15.5 °C	L_3	5343 mm
ν	$1.135 \cdot 10^{-6} m^3/m^3$	$\sum L_i$	15996 mm
h_0	64.00		

P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h-h_0$ [mm]	$P_1 \cdot P_2 \cdot L_1$ [%]	$P_2 \cdot P_3 \cdot L_2$ [%]	$P_3 \cdot P_4 \cdot L_3$ [%]	h_1/L_1 [%]	s [%]	Q [$10^{-3} m^3/s$]	v [$10^{-1} m/s$]	$Re \cdot 10^3$	f
483	396	309	218	183.35	119.35	16.2	16.4	17.0	16.5	0.4	4.10	7.96	5.68	0.041
423	349	276	198	179.25	115.25	13.9	13.7	14.6	14.1	0.5	3.80	7.97	5.26	0.041
377	313	250	183	176.25	112.25	12.0	11.9	12.5	12.1	0.3	3.50	6.79	4.85	0.042
271	231	191	148	166.55	102.55	7.4	7.5	8.0	7.6	0.3	2.80	5.49	3.88	0.041
192	169	145	119	156.10	92.10	4.9	4.5	4.9	4.6	0.3	2.15	4.17	2.98	0.042
146	131	117	100	147.55	83.55	2.8	2.6	3.2	2.9	0.3	1.70	3.30	2.36	0.042
87	82	78	70	130.10	66.10	0.9	0.8	1.5	1.1	0.4	0.90	1.75	1.25	0.057

Huomautuksia:

Päiväys: 26.1.1978
Tunna Swarth



Veto-salaojaputki, $d_{sj} = 81$ mm
 $d_{ui} = 99$ mm
 $T = 15.5$ °C

TEKNILINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööriopisto
 Vesitalouden oppituuoli

Putkityyppi: Veto-salaojaputki

Valmistaja: Oy Finlayson Ab, Forssa

dsi	49 mm	L ₀	1849 mm
d _{ul}	129 mm	L ₁	6715 mm
Asi	7698 mm ²	L ₂	6695 mm
T	15.0 °C	L ₃	6669 mm
v	1.150.10 ⁻⁶ m ² /s	ΣL _i	20099 mm
h ₀	6400	h ₁	

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ -P ₂ [%]	P ₂ -P ₃ [%]	P ₃ -P ₄ [%]	h ₁ /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁻²	f
108	102	94	87	146.50	82.50	0.9	1.2	1.6	1.0	0.2	1.65	2.14	1.84	0.042
165	150	131	114	163.85	99.85	2.2	2.8	2.5	2.5	0.3	2.70	3.51	3.02	0.039
192	172	148	124	170.35	106.35	3.0	3.6	3.6	3.4	0.3	3.15	4.09	3.52	0.039
257	223	185	147	181.45	117.45	5.1	5.7	6.0	5.6	0.5	3.95	5.13	4.42	0.041
327	277	223	169	190.45	126.45	7.4	8.1	8.1	7.9	0.4	4.75	6.17	5.31	0.040
399	333	262	190	197.50	133.50	9.8	10.6	10.9	10.4	0.5	5.40	7.01	6.03	0.041
490	403	310	216	205.10	141.10	13.0	13.9	14.1	13.7	0.6	6.20	8.05	6.99	0.041
580	472	357	240	211.35	147.35	16.1	17.2	17.5	16.9	0.7	6.95	9.03	7.77	0.040
696	561	416	270	218.05	154.05	20.1	21.7	21.9	21.2	1.0	7.65	9.93	8.55	0.042
838	668	488	306	225.00	161.00	25.3	26.9	27.3	26.5	1.1	8.50	11.04	9.50	0.042
985	780	563	343	230.80	166.80	30.5	32.4	33.0	32.0	1.3	9.30	12.09	10.40	0.043
1096	862	618	369	235.00	171.00	34.8	36.4	37.3	36.2	1.3	9.90	12.86	11.07	0.043
1244	976	695	409	239.55	175.55	39.9	42.0	42.9	41.6	1.5	10.70	13.90	11.97	0.042
1431	1115	789	453	245.10	181.10	44.1	48.7	50.4	48.7	1.7	11.60	15.07	12.97	0.042
1578	1226	860	488	249.20	185.20	52.4	54.7	55.8	54.3	1.7	12.35	16.04	13.80	0.041
1706	1325	928	523	252.00	188.00	56.7	59.3	60.7	58.9	2.0	12.85	16.69	14.67	0.041
1876	1453	1011	561	256.35	192.35	63.0	66.0	67.5	65.5	2.3	13.55	17.60	15.15	0.041
2117	1633	1122	613	261.00	197.00	72.0	76.3	76.3	74.9	2.5	14.40	18.70	16.10	0.042
2302	1790	1217	653	264.50	200.50	79.2	82.6	84.6	82.1	2.7	14.95	19.42	16.72	0.042
2020	1558	1077	588	258.90	194.90	68.8	71.8	73.3	71.3	2.3	14.00	18.19	15.66	0.042
1548	1202	841	473	248.30	184.30	51.5	53.9	55.2	53.5	1.9	12.20	15.85	13.64	0.041
1245	974	692	404	239.80	175.80	40.4	42.1	43.2	41.9	1.4	10.70	13.90	11.97	0.042
1013	800	574	345	232.25	168.25	31.7	33.8	34.3	33.3	1.4	9.70	12.60	10.85	0.039
889	705	511	314	227.30	163.30	27.4	29.0	29.5	28.6	1.1	8.75	11.37	9.79	0.043

Huomautuksia:

päiväys:

3.11.1998

Teemu Suorhi

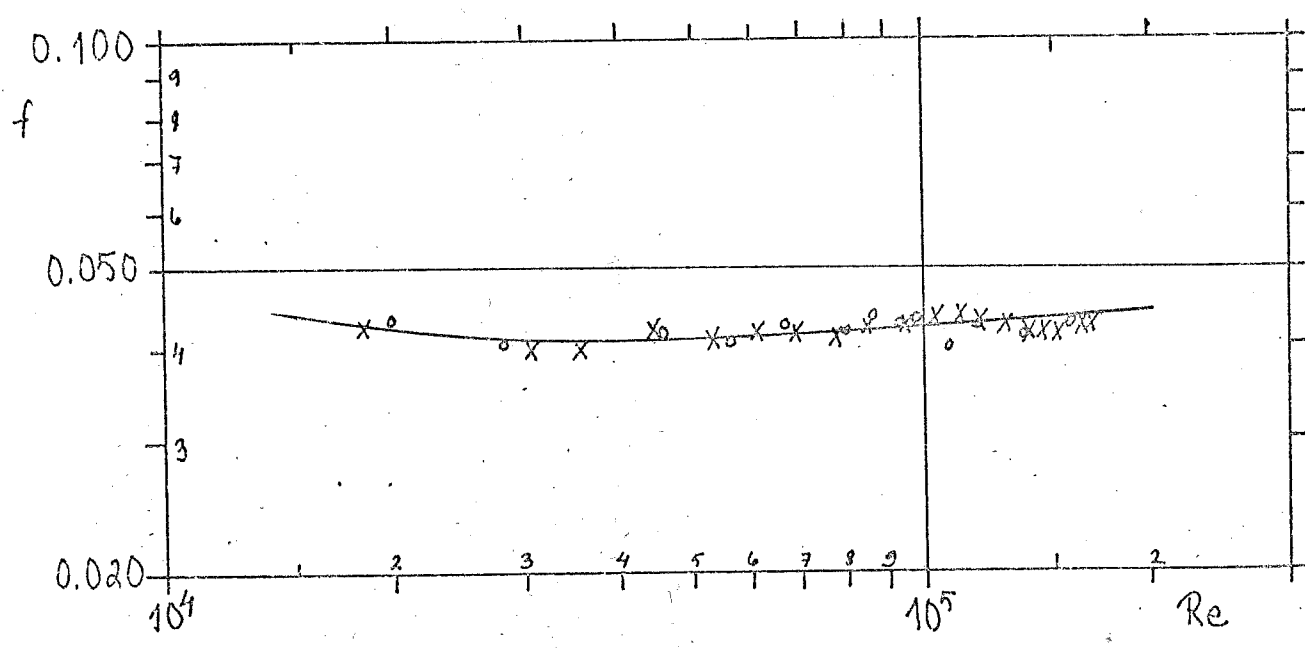
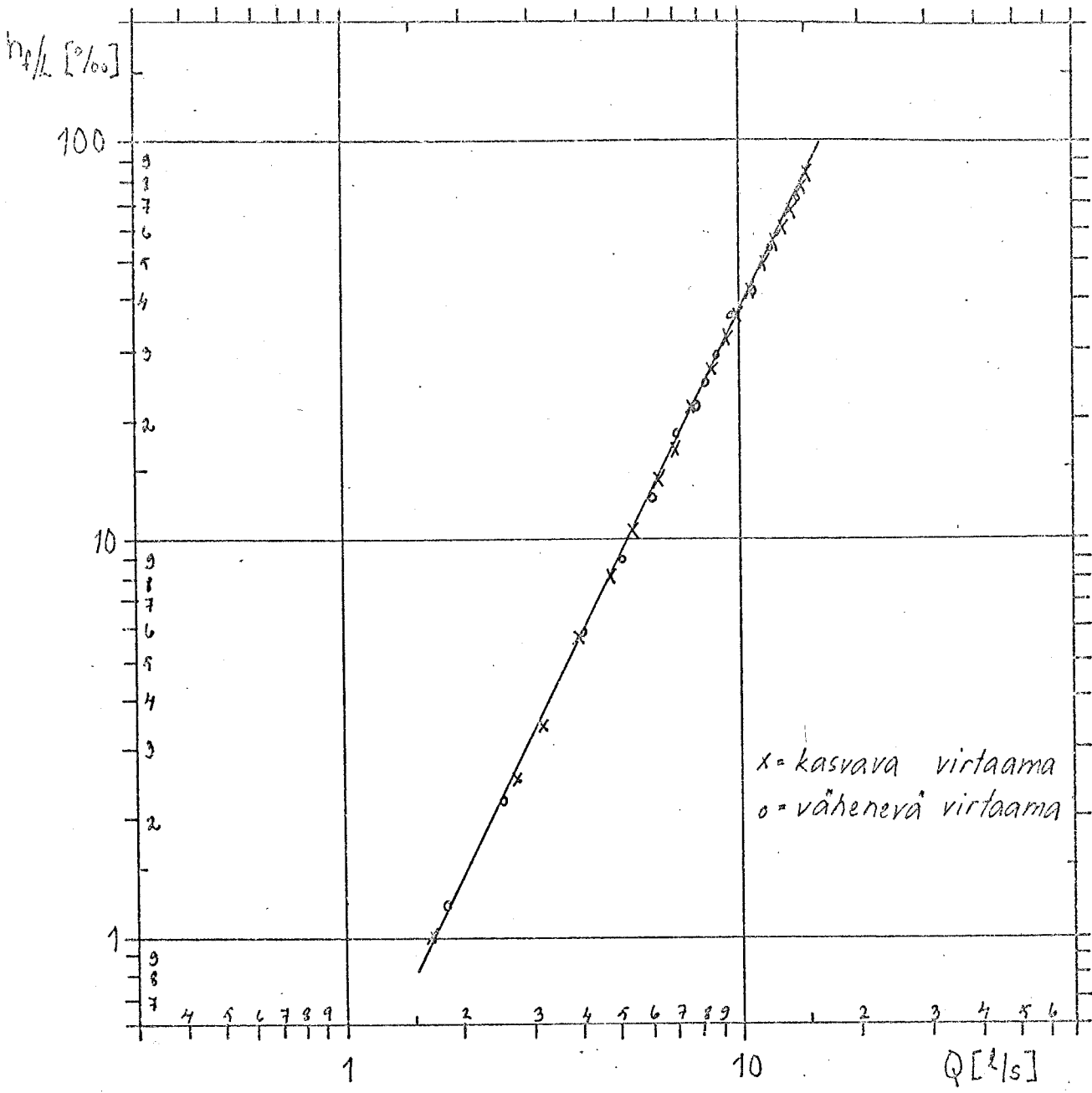
TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriosasto
Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Veto-salaaiaiputki
Valmistaja: Oy Finlayson Ab, Forssa

d _{si}	99 mm	L ₀	5859 mm
d _{li}	129 mm	L ₁	6715 mm
A _{si}	7698 mm ²	L ₂	6695 mm
T	15.0 °C	L ₃	6669 mm
v	1.150.16 mm ³ /s	$\frac{3}{2}L_i$	20679 mm
h ₀	64.00	1-1	

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ -P ₂ [1%]	P ₂ -P ₃ [1%]	P ₃ -P ₄ [1%]	h ₁ /L [1%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
25	785	627	460	289	222.80	158.80	23.5	24.9	25.6	24.7	1.1	8.25	10.72	3.23	0.042
26	690	555	410	265	217.75	153.75	20.1	21.7	21.7	21.2	0.9	7.65	9.94	8.56	0.079
27	592	480	360	240	212.00	148.00	16.7	17.9	18.0	17.5	0.7	7.00	9.09	7.83	0.071
28	458	378	292	200	202.65	138.65	11.9	12.8	13.8	12.8	1.0	5.90	7.66	6.59	0.072
29	351	296	236	175	193.00	129.00	8.2	9.0	9.1	8.8	0.5	5.00	6.50	5.60	0.070
30	266	229	189	149	182.35	118.35	5.5	6.9	6.0	5.8	0.3	4.05	5.26	4.53	0.041
31	155	142	125	110	161.50	97.50	1.9	2.5	2.2	2.2	0.3	2.50	3.25	2.80	0.040
32	116	110	100	92	149.50	85.50	0.9	1.5	1.2	1.2	0.3	1.80	2.33	2.00	0.043

Huomautuksia: _____ Päiväys: 31.1.1978
Thunbo Suorin



Veto-salaojaputki, $d_{si} = 99$ mm
 $d_{ui} = 129$ mm
 $T = 15.0$ °C

TEKNILINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriopisto
Vesitalouden oppituli

Putkityyppi: Veto-salaojaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

dsi	12.9 mm	L ₀	6667 mm
d _{Li}	160 mm	L ₁	8675 mm
A _{Si}	13070 mm ²	L ₂	8658 mm
T	15.0 °C	L ₃	8547 mm
v	1.150.16 mm ³	L ₄	85880 mm
n ₀	67.00	L ₅	

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [min]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ L ₁ [%]	P ₂ P ₃ L ₂ [%]	P ₃ P ₄ L ₃ [%]	h ₁ /L ₁ [%]	s [%]	0.10-3 m/s	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
1	115	109	102	97	159.85	94.05	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	2.95	1.80	2.02	0.047
2	138	128	119	111	170.90	106.90	1.2	1.0	0.9	1.0	0.2	3.15	2.41	2.90	0.049
3	165	153	138	125	181.60	116.60	1.4	1.7	1.5	1.5	0.2	3.90	2.98	3.99	0.043
4	209	187	164	144	194.55	130.55	2.5	2.6	2.3	2.5	0.2	5.10	3.90	4.37	0.042
5	275	239	202	168	208.90	144.90	4.1	4.3	4.0	4.1	0.2	6.60	5.05	5.66	0.041
6	387	325	260	200	225.85	161.85	7.1	7.5	7.0	7.2	0.3	8.60	6.58	7.58	0.042
7	502	412	319	232	238.40	174.40	10.3	10.7	10.2	10.4	0.3	10.50	8.03	9.01	0.041
8	589	479	362	254	245.85	181.85	12.7	13.5	12.6	12.9	0.5	11.70	8.95	10.04	0.041
9	700	566	420	283	255.00	191.00	15.4	16.3	16.0	16.1	0.8	13.90	10.18	11.42	0.039
10	771	615	451	297	258.50	194.50	18.0	18.9	18.0	18.3	0.5	13.95	10.67	11.97	0.041
11	972	767	549	342	270.25	206.25	23.6	25.4	24.0	24.3	0.9	16.20	12.33	13.90	0.040
12	1220	949	662	394	281.50	217.50	31.2	33.1	31.4	31.9	1.0	18.40	14.08	15.99	0.041
13	1495	1109	762	438	289.65	225.65	37.6	40.1	37.9	38.5	1.4	20.10	15.38	17.25	0.041
14	1690	1252	853	479	296.40	232.40	43.6	46.1	44.0	44.6	1.3	21.60	16.58	18.54	0.041
15	1993	1506	1011	543	305.65	241.65	53.8	57.2	54.8	55.3	1.7	23.90	18.29	20.52	0.042
16	2192	1666	1109	584	311.90	247.90	60.6	64.4	61.3	62.1	2.0	25.70	19.43	21.80	0.042
17	1447	1117	768	439	290.50	226.50	38.0	40.3	38.5	38.9	1.2	20.35	15.57	17.47	0.041
18	1166	909	636	381	279.35	215.35	29.6	31.5	29.8	30.3	1.0	17.95	13.93	15.40	0.041
19	932	735	527	332	268.35	204.35	22.7	24.0	22.8	23.2	0.7	15.85	12.13	13.61	0.040
20	784	626	457	299	260.00	196.00	18.2	19.5	18.5	18.7	0.7	14.25	10.90	12.23	0.040
21	663	535	399	272	251.90	187.90	14.8	15.7	14.9	15.1	0.5	12.75	9.76	10.95	0.040
22	569	463	352	250	244.45	180.45	12.2	12.8	11.9	12.3	0.5	12.20	9.33	10.48	0.036
23	490	399	283	214	231.00	167.00	8.2	8.8	8.1	8.4	0.4	9.30	7.12	7.99	0.042
24	267	233	198	165	207.50	143.50	3.9	4.0	3.9	3.9	0.1	6.45	4.93	5.53	0.041

Huomautuksia:

Päiväys: 2.2.1978

Muuta huomioita

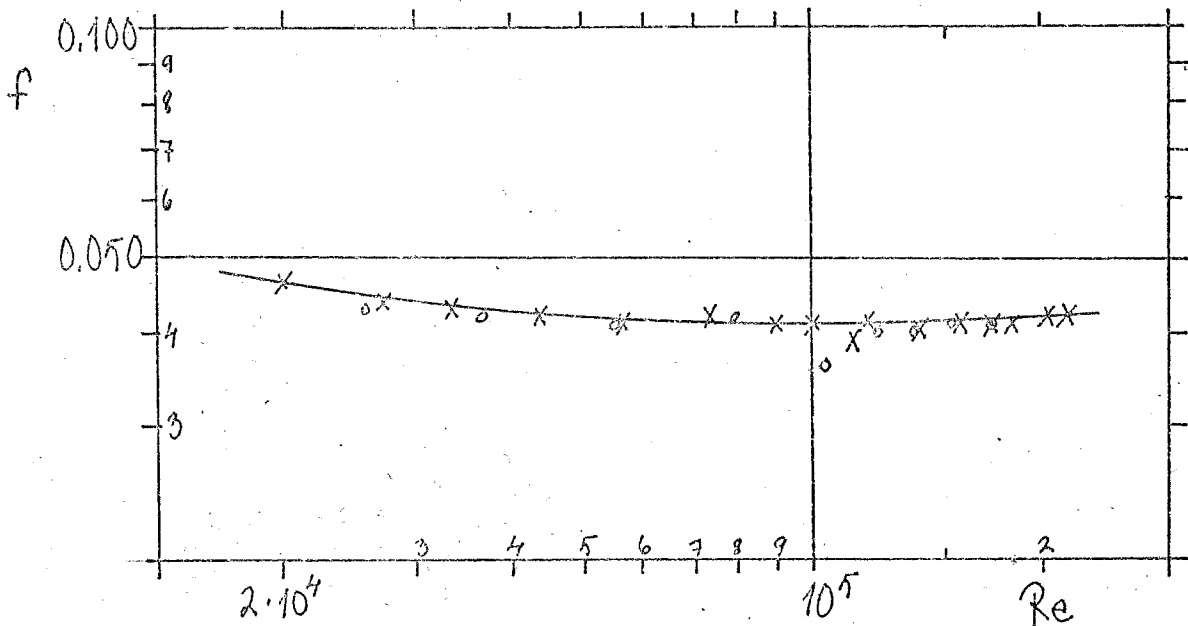
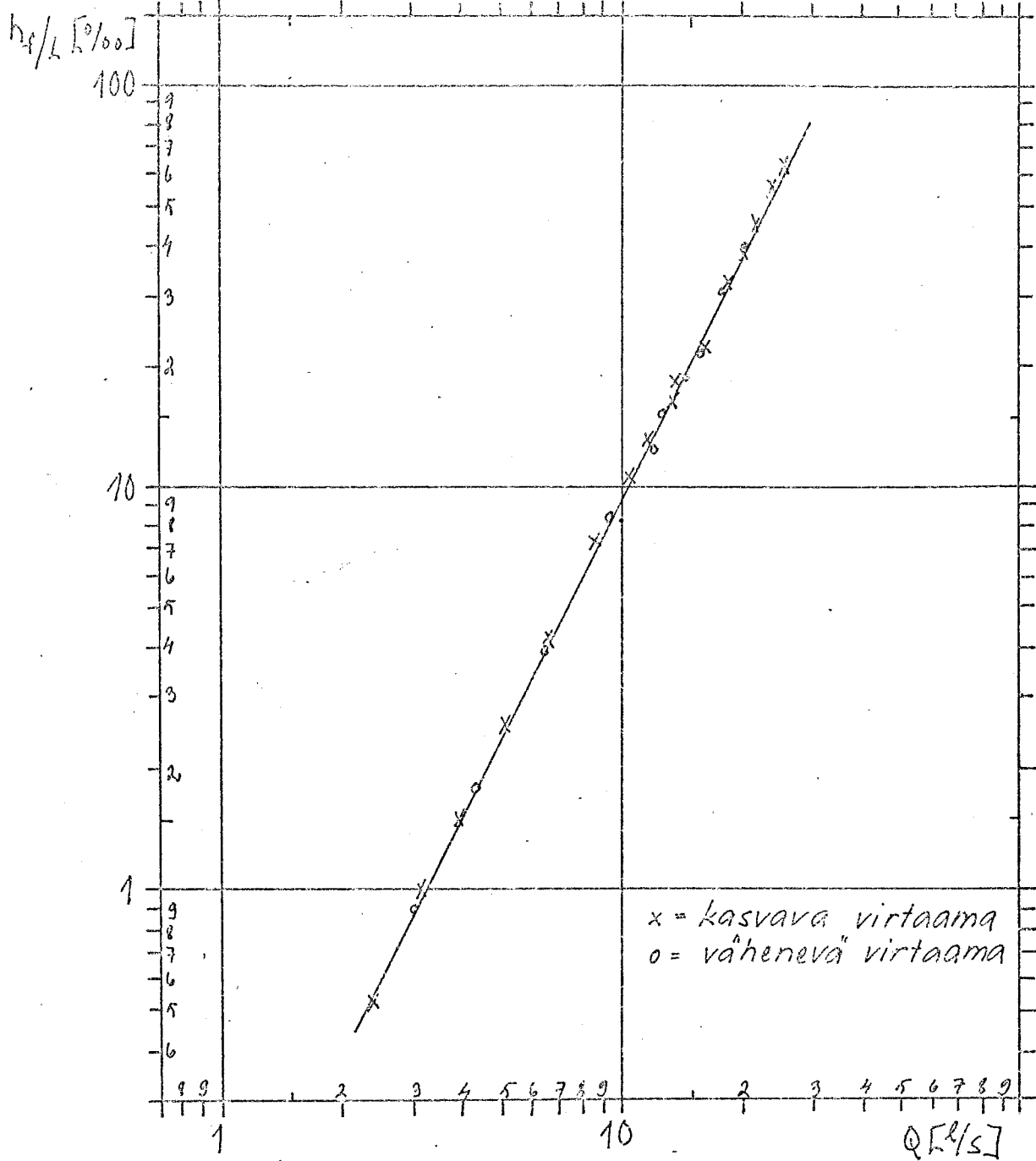
TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriosasto
Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Keto-salaajaputki
Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

d_{si}	129 mm	L_0	6667 mm
d_{ui}	160 mm	L_1	8675 mm
A_{si}	13070 mm ²	L_2	8658 mm
T	15.0 °C	L_3	8549 mm
v	1.150 · 10 ⁻⁶ m ² /s	L_{2+3}	25880 mm
h_0	64.00 mm	$\frac{L_1}{L_0}$	

P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h-h_0$ [mm]	$\frac{P_1-P_2}{L_1}$ [‰]	$\frac{P_2-P_3}{L_2}$ [‰]	$\frac{P_3-P_4}{L_3}$ [‰]	$\frac{P_1-P_4}{L_0}$ [‰]	h_f/L [‰]	s [‰]	Q_{10-3} m ³ /s	v (10 ⁻¹ m/s)	Re · 10 ³	f
178	162	147	132	185.95	121.95	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	0.1	4.30	3.29	3.69	0.042
155	125	117	110	168.55	104.55	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.1	3.00	2.30	2.58	0.043

Huomautuksia: _____
Päiväys: 2.2.1978
Antula Suoratti



Veto-salaojaputki, $d_{si} = 129$ mm
 $d_{ui} = 160$ mm
 $T = 15.0$ °C

TEKNILINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriosaisto
Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Keto-salaojaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

d_{si}	159 mm	L_0	1400 mm
d_{li}	—	L_1	10698 mm
A_{si}	19856 mm ²	L_2	10677 mm
T	14.0 °C	L_3	10689 mm
ν	1.180 · 10 ⁻⁴ m ² /s	ΣL_i	32064 mm
h_0	64.00	$\frac{\Sigma L_i}{\nu}$	

	P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h-h_0$ [mm]	$P_1 P_2 P_3 P_4$ [%]	$P_1 P_2 P_3$ [%]	$P_2 P_3 P_4$ [%]	$P_3 P_4 P_1$ [%]	h_f/L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	$Re \cdot 10^4$	τ
1	181	163	153	143	192.40	128.40	1.7	0.9	0.9	0.9	1.2	0.5	4.90	2.76	3.31	0.062
2	217	195	179	163	204.60	140.60	2.1	1.7	1.7	1.3	1.7	0.4	6.20	3.12	4.20	0.054
3	298	256	226	199	222.80	158.80	3.9	2.8	2.8	2.5	3.1	0.7	8.30	4.18	5.63	0.055
4	391	325	278	235	237.25	173.25	6.2	4.4	4.4	4.0	4.9	1.2	10.40	5.24	7.06	0.056
5	491	381	320	263	249.00	183.00	8.4	5.7	5.7	5.3	6.5	1.7	11.90	5.99	8.07	0.057
6	644	543	438	340	267.50	203.50	9.4	9.8	9.8	9.8	9.7	0.2	15.50	7.81	10.52	0.050
7	776	638	507	384	276.85	212.85	12.9	12.3	12.3	11.5	12.2	0.7	17.35	8.74	11.78	0.050
8	932	757	593	438	286.70	222.70	16.4	15.4	15.4	14.5	15.4	1.0	19.50	9.82	13.23	0.050
9	1032	832	649	492	292.15	228.15	18.7	17.3	17.3	16.4	17.5	1.2	20.75	10.45	14.08	0.050
10	1111	891	689	498	296.00	232.00	20.6	18.9	18.9	17.9	19.1	1.4	21.50	10.83	14.59	0.051
11	1264	1007	774	544	303.90	239.90	24.0	21.8	21.8	21.5	22.4	1.4	23.50	11.78	15.87	0.050
12	1448	1146	893	609	310.55	246.55	28.2	25.6	25.6	24.7	26.2	1.8	25.20	12.69	17.09	0.051
13	1580	1248	945	654	315.85	251.85	31.0	28.4	28.4	27.2	28.9	1.9	26.60	13.40	18.06	0.050
14	1762	1388	1044	713	322.35	258.35	35.5	32.2	32.2	31.0	32.9	2.3	28.50	14.35	19.34	0.050
15	1882	1478	1108	753	325.85	261.85	37.8	34.9	34.9	33.2	35.2	2.3	29.40	14.81	19.96	0.050
16	2057	1610	1202	810	330.70	266.70	41.8	38.2	38.2	36.7	38.9	2.6	30.35	15.29	20.60	0.052
17	2201	1719	1280	858	334.90	270.90	45.1	41.1	41.1	39.5	41.9	2.9	32.00	16.12	21.72	0.050
18	2291	1789	1329	885	337.45	273.45	47.1	43.1	43.1	41.4	43.9	2.9	32.75	16.49	22.22	0.050
19	1985	1553	1162	787	328.70	264.70	40.4	36.6	36.6	35.1	37.4	2.7	30.25	15.23	20.52	0.050
20	1694	1333	1007	693	319.75	255.75	33.7	30.5	30.5	29.4	31.2	2.2	27.65	13.93	18.77	0.050
21	1437	1143	872	610	310.50	246.50	27.5	25.4	25.4	24.5	25.9	1.5	25.20	13.69	17.10	0.050
22	1095	881	684	496	295.60	231.60	20.0	18.5	18.5	17.6	18.7	1.2	21.50	10.83	14.59	0.050
23	884	720	568	423	283.95	219.95	15.3	14.2	14.2	13.6	14.4	0.9	19.00	9.57	12.90	0.049
24	677	560	452	350	269.60	205.60	10.9	10.1	10.1	9.5	10.2	0.7	16.05	8.08	10.89	0.049

Huomautuksia: Reiätönämä nystyräinen, Tulo-otus Päiväys: 6.2.1978

(L_0) ei täytä ehtoa 50 s.d.

Uula Suorhi

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööri-osasto
Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Veto-salaajaiputki
Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

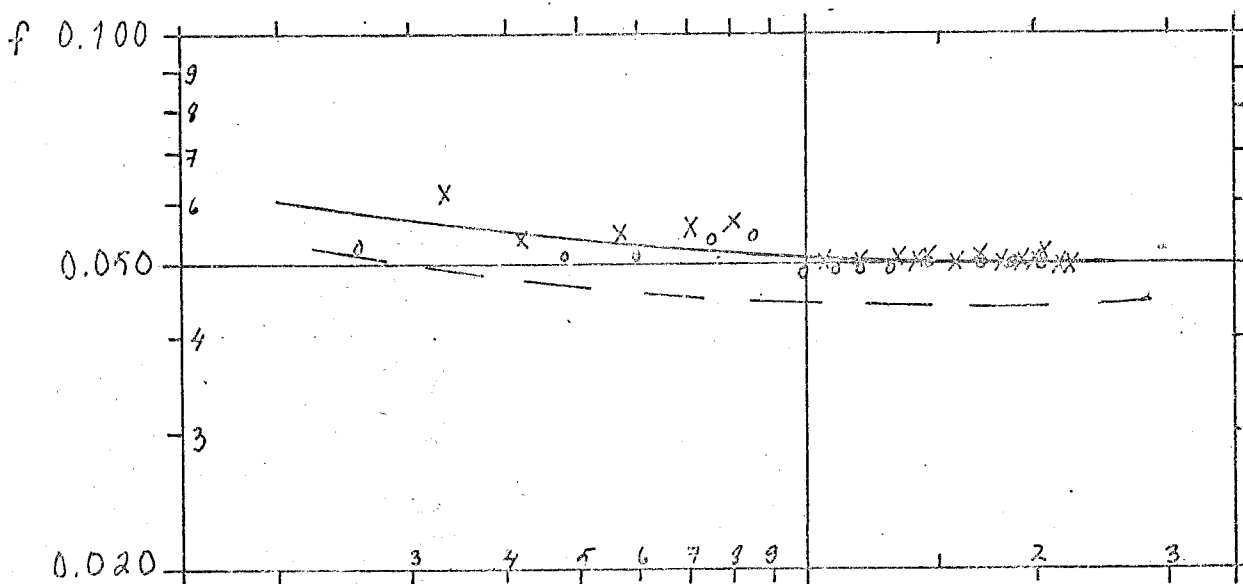
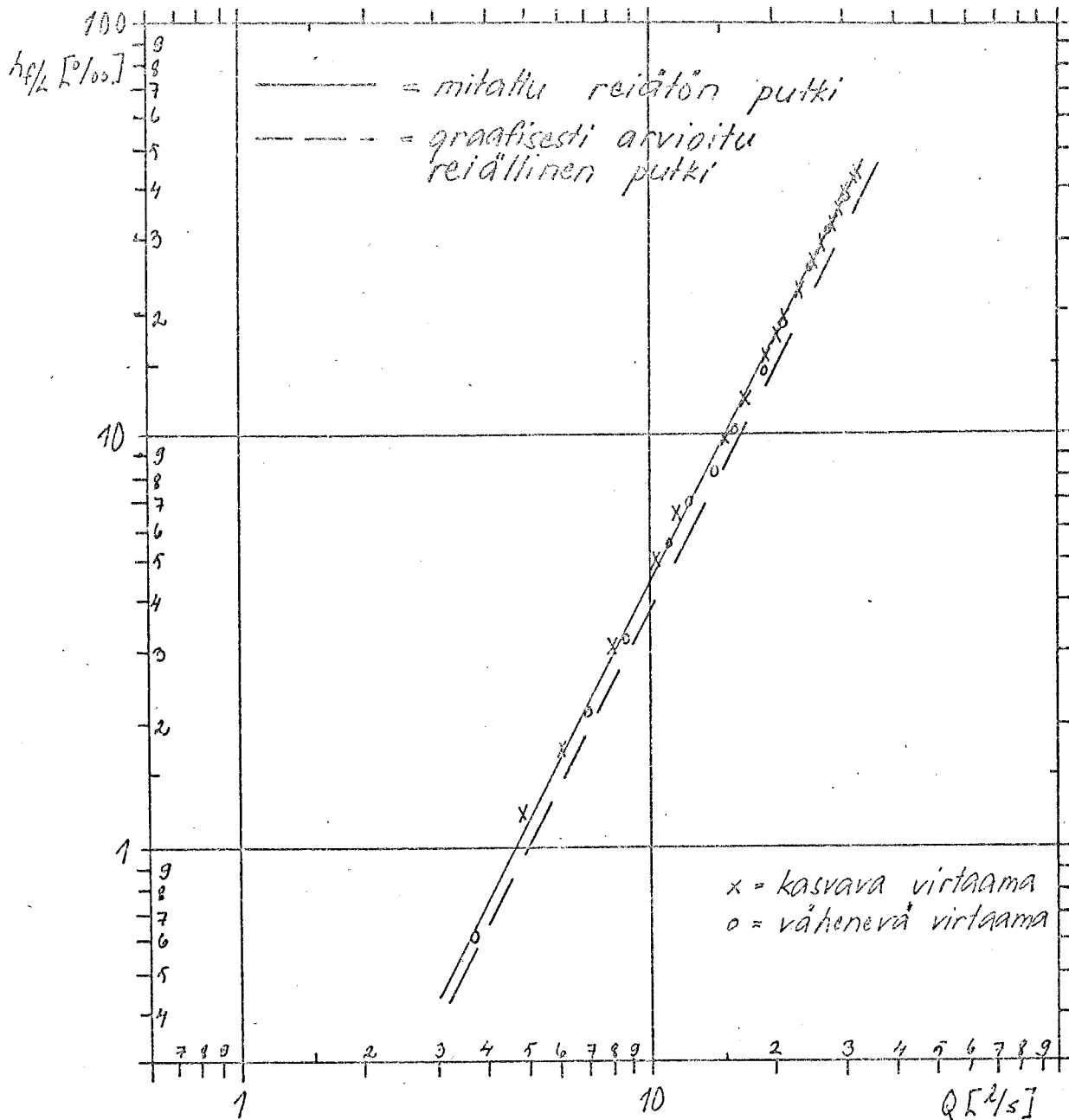
dsi	159 mm	L ₂	1400 mm
d _{ui}		L ₁	10698 mm
A _{si}	19856 mm ²	L ₂	10677 mm
T	14.0 °C	L ₃	10689 mm
v	1.180-16-40%	L ₄	32064 mm
h ₀	64.00		

P ₁ [min]	P ₂ [min]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ ·P ₂ /L ₁ [%]	P ₂ ·P ₃ /L ₂ [%]	P ₃ ·P ₄ /L ₃ [%]	h ₄ /L [%]	s [%]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁻⁴	f
25	580	486	316	261.35	197.35	8.8	8.2	7.7	8.2	0.6	14.45	9.28	0.058
26	498	405	277	250.65	186.65	8.7	6.2	5.8	6.9	1.6	12.55	6.32	0.054
27	424	352	250	242.20	178.20	6.7	5.0	4.6	5.4	1.1	11.10	5.59	0.054
28	314	274	216	226.85	162.85	5.7	3.2	2.8	3.2	0.5	8.80	4.43	0.051
29	245	220	179	212.85	148.85	2.3	2.0	1.9	2.1	0.2	7.10	3.58	0.051
30	144	136	125	179.10	115.10	0.7	0.6	0.5	0.6	0.1	3.95	1.89	0.052

Huomautuksia:

Päiväys: 6.2.1978

Teuvo Huurtta



Veto-salaojaputki, $d_{si} = 159 \text{ mm}$, nystyrällinen
 ei ulkoputkea
 $T = 14.0 \text{ } ^\circ\text{C}$

MITTAUSTULOKSET TILIPUTKILLA TEHDYISTÄ KOKEISTA.

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööriopisto
 Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Tiiliputki
 Valmistaja: Paloheimo Yhtymä Riikimäki

dsi	42 mm	L ₀	2762 mm
d _{ui}	67 mm	L ₁	2707 mm
A _{si}	1353 mm ²	L ₂	2668 mm
T	15.0 °C	L ₃	2668 mm
v	1.150 · 10 ⁻³ m ³ /s	ΣL _i	8043 mm
h ₀	67.00	l=1	

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ L ₁ [%]	P ₂ P ₃ L ₂ [%]	P ₃ P ₄ L ₃ [%]	h _f /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁻³	f
1	103	91	79	69	119.90	49.90	4.4	4.5	3.7	4.2	0.4	0.40	2.96	1.14	0.040
2	197	153	127	102	122.85	58.85	8.9	9.7	9.4	9.3	0.4	0.65	4.80	1.85	0.033
3	276	235	190	147	130.00	66.00	15.1	16.9	16.1	16.0	0.9	0.90	6.65	2.56	0.030
4	355	300	239	182	134.45	70.45	20.9	22.9	21.4	21.5	1.3	1.05	7.76	2.95	0.029
5	532	447	348	258	141.80	74.80	31.4	37.1	33.7	34.1	2.9	1.40	10.35	3.88	0.026
6	677	542	420	307	145.40	81.40	38.8	45.7	42.4	42.3	3.5	1.55	11.46	4.24	0.027
7	784	655	505	366	148.85	84.85	47.7	56.2	52.1	52.0	4.3	1.75	12.93	4.72	0.026
8	891	744	572	419	151.50	87.50	54.3	64.5	59.6	59.5	5.1	1.90	14.04	5.19	0.025
9	1028	858	657	472	154.35	90.35	62.8	75.3	69.3	69.1	6.3	2.05	15.15	5.53	0.025
10	1280	1067	814	582	158.80	94.80	78.7	94.8	87.0	86.8	8.1	2.35	17.37	6.34	0.024
11	1503	1255	955	680	162.25	98.25	91.6	112.4	103.1	102.4	10.4	2.55	18.85	6.88	0.024
12	1764	1472	1120	796	165.70	101.70	107.9	131.9	121.4	120.4	12.0	2.80	20.69	7.56	0.023
13	1951	1626	1236	878	167.90	103.90	120.1	146.2	134.2	133.5	13.1	2.95	21.80	7.96	0.023
14	2212	1844	1400	999	170.70	106.70	135.9	166.4	152.5	151.6	15.3	3.15	23.28	8.50	0.023
15	1937	1615	1227	872	167.50	103.50	119.0	145.4	133.1	132.5	13.2	2.90	21.43	7.83	0.024
16	1460	1218	927	661	161.50	97.50	89.4	109.1	99.7	99.4	9.9	2.55	18.85	6.88	0.025
17	1061	886	678	488	155.00	91.00	64.6	78.0	71.2	71.3	6.7	2.10	15.52	5.67	0.024
18	874	731	562	407	150.90	86.90	52.8	63.3	58.1	58.1	5.3	1.85	13.67	4.99	0.026
19	717	600	464	339	147.20	83.20	43.2	51.0	46.9	47.0	3.9	1.70	12.56	4.59	0.024
20	522	439	343	255	141.25	77.25	30.7	36.0	33.0	33.2	2.7	1.40	10.35	3.78	0.025
21	434	365	288	217	137.80	73.80	25.5	28.9	26.6	27.0	1.7	1.20	8.87	3.24	0.028
22	334	283	227	174	132.95	68.95	18.8	21.0	19.9	19.9	1.1	1.00	7.39	2.70	0.030
23	253	216	175	139	128.10	64.10	13.7	15.4	13.5	14.2	1.0	0.85	6.28	2.29	0.029
24	197	170	141	114	123.75	59.75	10.0	10.9	10.1	10.3	0.5	0.70	5.17	1.89	0.032

Huomautuksia: Lämpötila laskee kuitujen enimmäisessä mitässä. Päiväys: 23.2.1978
 Kierroksen aikana 17.0 °C:sta 15.0 °C:een. Oteku huomioin (muuta huomiota)

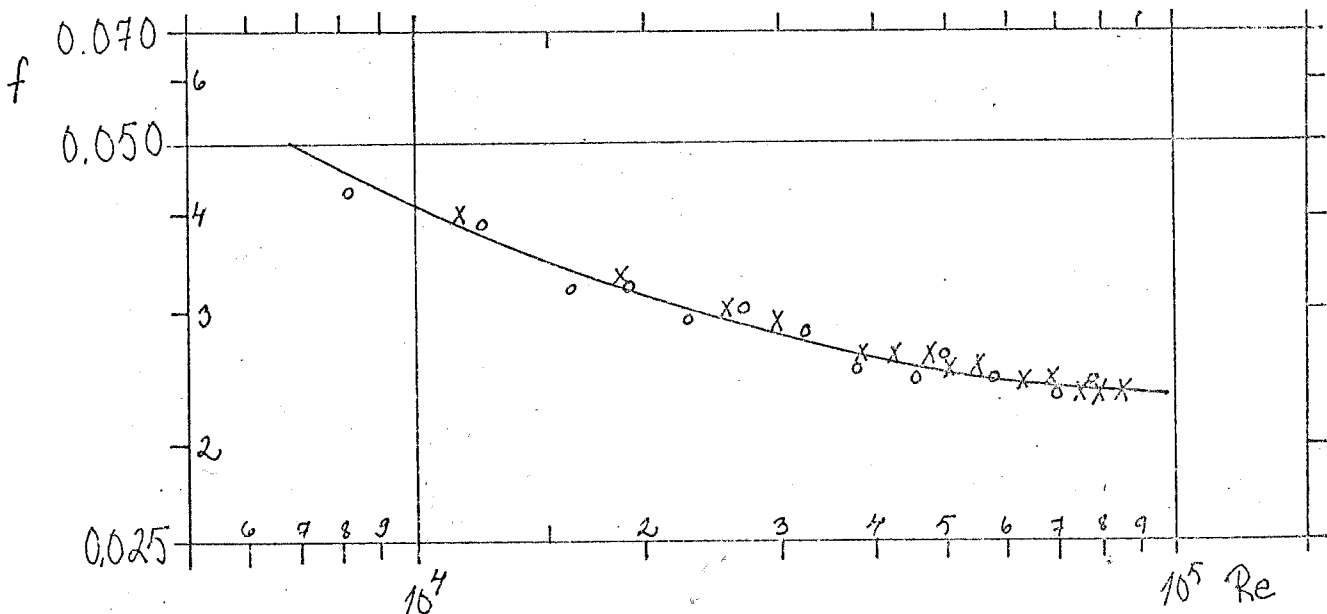
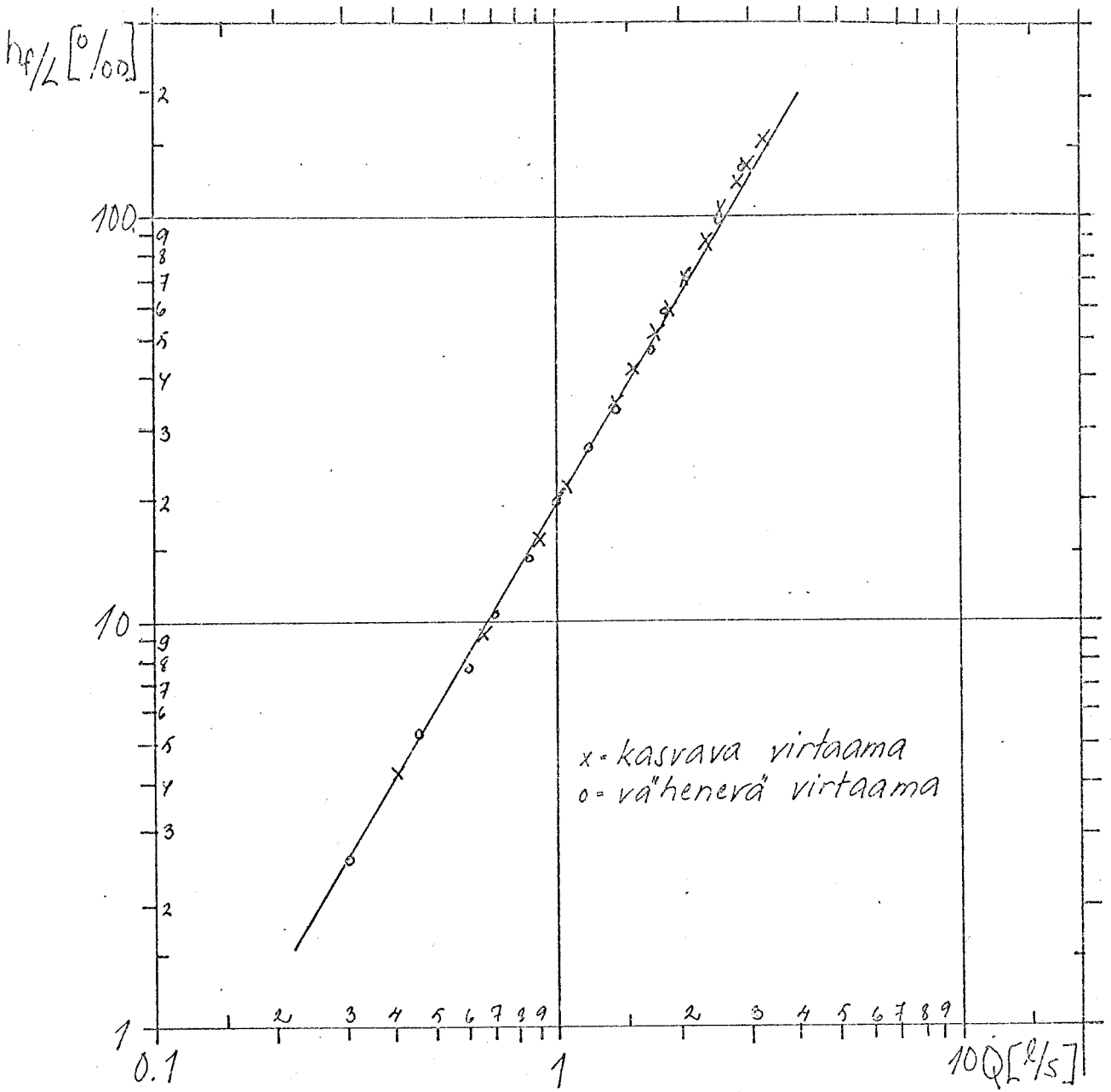
TEKNILINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriosasto
Vesitalouden oppituuoli

Putkityyppi: Tiiliputki
Valmistaja: Paloheimo Yhtymä, Riihimäki

d _{st}	42 mm	L ₀	2462 mm
d _{ul}	65 mm	L ₁	2707 mm
A _{si}	1353 mm ²	L ₂	2668 mm
T	15,0 °C	L ₃	2668 mm
v	1,150 · 16 ⁰ / 2	L ₄	8043 mm
h ₀	64,00	L ₅	

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ -P ₂ L ₁ [%]	P ₂ -P ₃ L ₂ [%]	P ₃ -P ₄ L ₃ [%]	h ₁ /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
158	138	116	96	120,00	56,00	7,4	8,2	7,5	7,7	0,4	0,60	4,43	1,62	0,032
26	122	107	92	115,70	51,00	5,5	5,6	4,9	5,3	0,4	0,45	3,30	1,22	0,033
27	78	70	63	107,90	43,00	3,0	2,6	2,2	2,6	0,4	0,30	2,22	0,81	0,043

Huomautuksia: _____
Päiväys: 23.2.1998
(Tuula Suoristo)



Tiiliputki, $d_{si} = 42$ mm
 $d_{ui} = 65$ mm
 $T = 15.0$ °C

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriopisto
Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Tiiliputki
Valmistaja: Paloneimo Yhtymä, Riihimäki

d _{si}	52 mm	L ₀	2595 mm
d _{ui}	81 mm	L ₁	3333 mm
A _{si}	2124 mm	L ₂	3337 mm
T	15,5 °C	L ₃	3325 mm
v	1.135.10 ⁻⁶ m ³ /s	ΣL _i	9995 mm
h ₀	64.00	h _i	

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	t-h ₀ [mm]	T P ₂ L ₁ [%]	T P ₂ L ₂ [%]	T P ₂ L ₃ [%]	T P ₂ L ₄ [%]	h _i /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ³	f
86	80	73	65	118.80	54.80	1.8	2.1	2.4	2.7	2.1	0.3	0.55	2.59	1.19	0.032
139	124	108	91	129.45	65.45	4.5	4.8	5.1	5.4	4.8	0.3	0.90	4.24	1.94	0.027
190	166	140	113	136.25	72.25	7.2	7.8	8.1	8.7	7.7	0.5	1.15	5.41	2.48	0.027
246	212	175	138	141.95	77.95	10.2	11.1	11.1	11.1	10.8	0.5	1.40	6.59	3.02	0.025
311	266	216	165	149.10	83.10	13.5	15.0	15.3	15.3	14.6	1.0	1.65	7.77	3.56	0.025
375	318	255	192	151.55	87.55	17.1	18.9	18.9	18.9	18.3	1.0	1.90	8.95	4.10	0.023
451	380	302	223	155.95	91.95	21.3	23.4	23.4	23.8	22.8	1.3	2.15	10.12	4.64	0.023
516	434	342	249	159.00	95.00	24.6	27.6	27.6	28.0	26.7	1.9	2.35	11.00	5.04	0.022
609	510	399	287	162.75	98.75	29.7	33.3	33.3	33.7	32.2	2.2	2.60	12.24	5.61	0.022
739	617	499	340	167.50	103.50	36.6	41.4	41.4	41.8	39.9	2.9	2.95	13.89	6.36	0.021
848	706	546	383	170.85	106.85	42.6	47.9	47.9	49.0	46.5	3.4	3.15	14.83	6.79	0.021
1018	847	654	453	175.95	111.95	51.3	57.8	60.5	60.5	56.5	4.7	3.50	16.48	7.55	0.021
1246	1034	790	549	180.55	116.55	63.6	73.1	72.1	72.5	69.7	5.3	3.90	18.36	8.41	0.021
1501	1244	954	654	185.50	121.50	77.1	86.9	86.9	90.2	84.7	6.8	4.30	20.24	9.27	0.021
1784	1477	1122	774	190.10	126.10	92.1	106.4	104.4	104.9	101.1	7.8	4.70	22.13	10.14	0.021
2013	1665	1265	871	193.25	129.25	104.4	119.9	119.9	118.5	114.3	8.6	5.00	23.54	10.78	0.021
1731	1433	1088	751	189.15	125.15	89.4	103.4	101.4	101.4	98.1	7.6	4.60	21.66	9.92	0.021
1421	1179	900	620	184.00	120.00	72.6	83.6	84.2	84.2	80.1	6.5	4.20	19.74	9.06	0.021
1179	980	750	523	173.15	115.15	59.7	68.9	68.9	68.3	65.6	5.1	3.75	17.66	8.03	0.021
984	819	631	449	174.50	110.50	49.5	56.3	56.3	56.5	54.1	4.0	3.45	16.24	7.44	0.021
808	675	523	371	169.55	105.55	39.9	45.5	45.5	45.7	43.7	3.9	3.05	14.36	6.58	0.022
681	570	444	319	165.40	101.40	33.3	37.8	37.6	37.6	36.2	2.5	2.75	12.95	5.93	0.022
535	450	354	258	159.60	95.60	25.5	28.8	28.9	28.9	27.7	1.9	2.40	11.30	5.18	0.022
431	365	291	216	154.50	90.50	19.8	22.2	22.6	22.6	21.5	1.5	2.05	9.65	4.42	0.023

Huomautuksia:

Päiväys: 27.2. 1978

Muuta huomioita

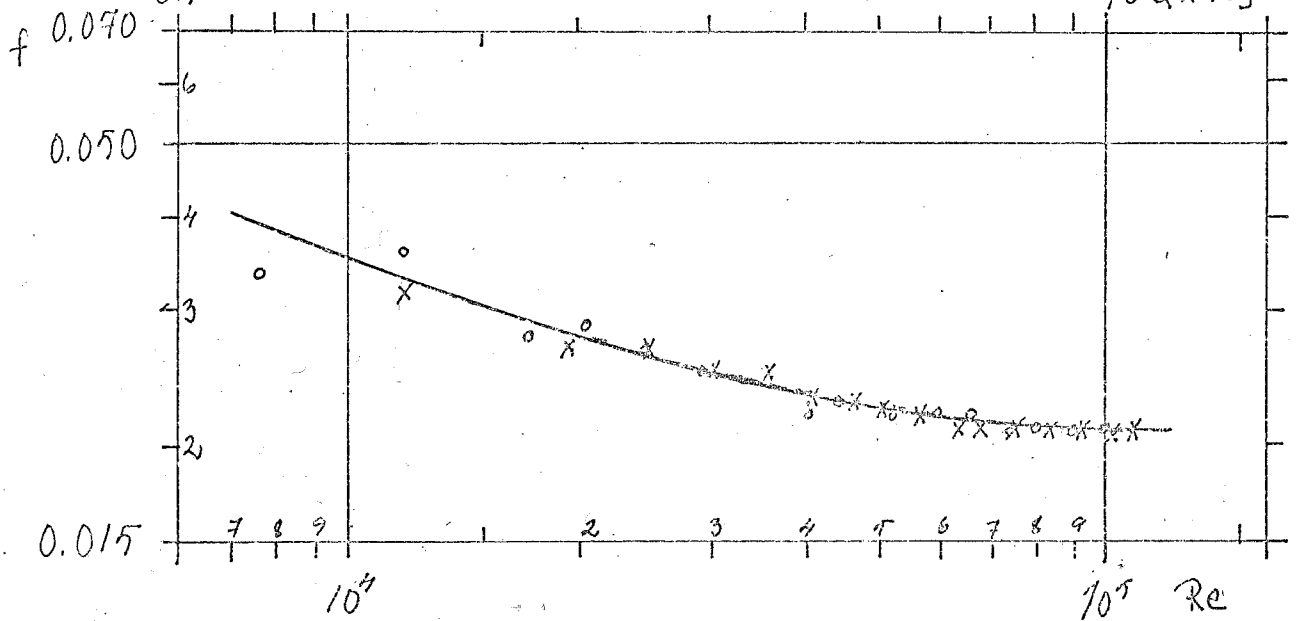
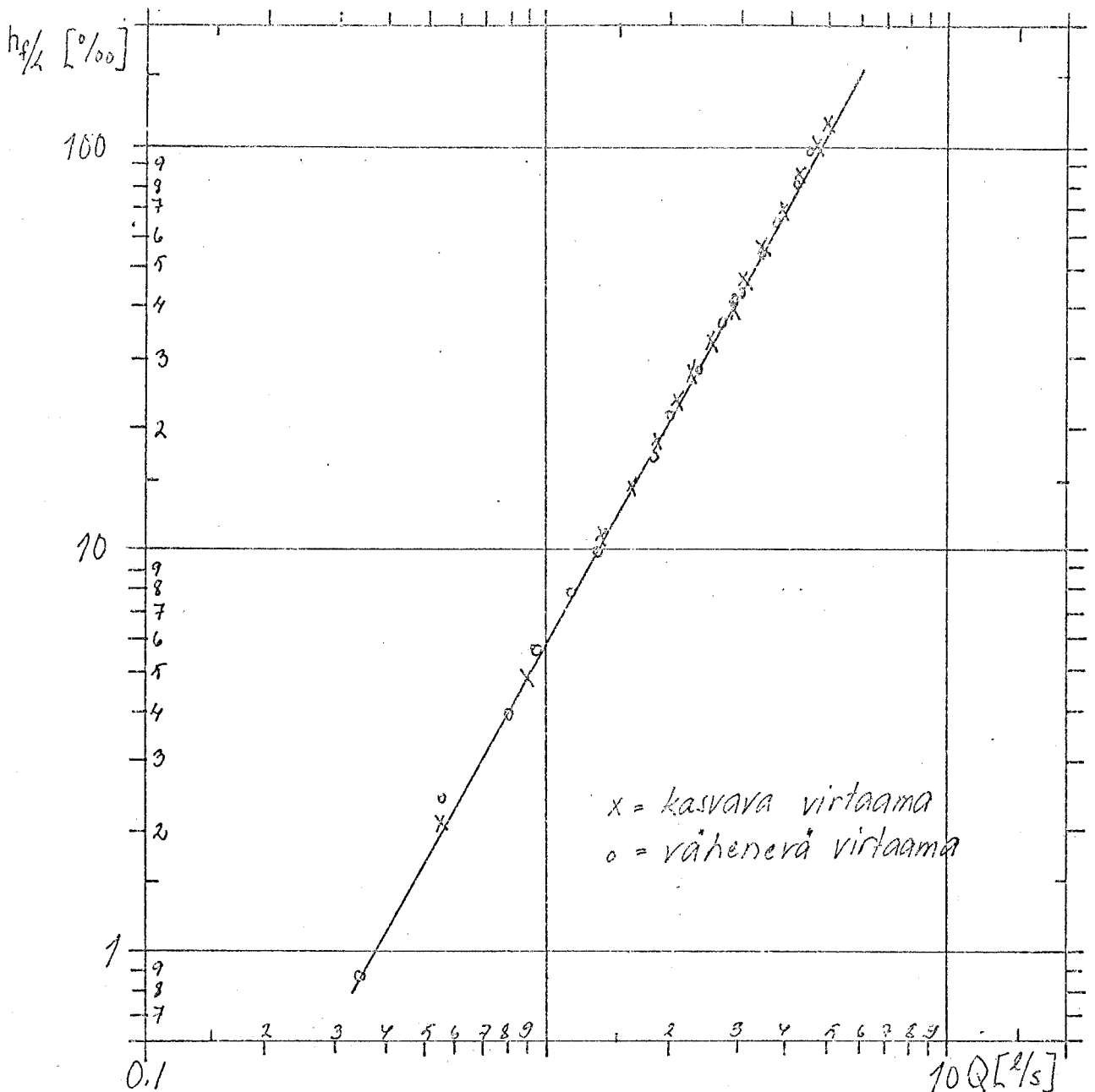
TEKNILLINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööri-osasto
 Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Tiili putki
 Valmistaja: Palohelmi Yhtymä, Ruuhimäki

d_{si}	52 mm	L_0	2593 mm
d_{li}	81 mm	L_1	3333 mm
A_{si}	2124 mm ²	L_2	3397 mm
T	19,5 °C	L_3	3385 mm
v	1,135.10 m/s ²	L_i	9995 mm
h_0	64.00	$f =$	

	P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h-h_0$ [mm]	$\frac{P_1-P_2}{L_1} (\%)$	$\frac{P_2-P_3}{L_2} (\%)$	$\frac{P_3-P_4}{L_3} (\%)$	$\frac{P_4-L_i}{L_i} (\%)$	h_f/L [‰]	s [‰]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	R_e /10 ⁴	f	
25	352	300	242	184	150.00	86.00	15.6	17.4	17.4	16.8	16.8	1.0	1.85	8.71	3.99	0.022	
26	231	200	166	133	140.50	76.50	9.3	10.2	9.9	9.8	9.8	0.5	1.35	6.36	2.91	0.025	
27	197	173	145	119	136.75	72.75	7.2	8.4	7.8	7.8	7.8	0.6	1.15	5.41	2.48	0.027	
28	158	140	120	101	131.80	69.80	5.4	6.0	5.7	5.7	5.7	0.3	0.95	4.49	2.05	0.029	
29	125	113	99	86	126.80	62.80	3.6	4.2	3.9	3.9	3.9	0.3	0.80	3.79	1.93	0.028	
30	92	83	76	68	119.35	55.35	2.7	2.1	2.4	2.4	2.4	0.3	0.55	2.59	1.19	0.036	
31	59	56	53	50	109.15	49.15	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0	0.35	1.65	0.76	0.034	

Huomautuksia: _____
 Päiväys: 27.2.1978
Arvola Saarinki



Tiiliputki, $d_{si} = 52 \text{ mm}$
 $d_{ui} = 81 \text{ mm}$
 $T = 15.5^\circ\text{C}$

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppituuoli

Putkityyppi: Tiiliputki

Valmistaja: Paloheimo Yhtymä, Riihimäki

dsj	67 mm	L ₀	3675 mm
d ₁₁	99 mm	L ₁	4345 mm
Asi	3525 mm	L ₂	4598 mm
T	15.5 °C	L ₃	4943 mm
v	1.135 · 10 ⁻⁶ m/s	L ₄	13026 mm
h ₀	64.00	L ₅	

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ L ₁ [%]	P ₂ P ₃ L ₂ [%]	P ₃ P ₄ L ₃ [%]	h _q /L [%]	s [%]	Q10 ⁻³ m/s	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
68	64	62	60	119.40	55.40	0.9	0.5	0.5	0.6	0.2	0.55	1.56	0.92	0.032
89	81	77	72	128.55	64.55	1.8	0.9	1.2	1.3	0.5	0.85	2.41	1.42	0.029
117	105	95	86	139.20	73.20	2.8	2.3	2.1	2.4	0.4	1.20	3.40	2.01	0.027
138	123	109	100	142.55	78.55	3.5	3.2	2.1	2.9	0.7	1.45	4.11	2.43	0.023
193	168	145	120	152.45	88.45	5.6	5.3	5.6	5.5	0.2	1.95	5.53	3.26	0.024
243	209	175	140	159.35	95.35	7.8	7.8	8.1	7.9	0.2	2.35	6.67	3.94	0.023
302	256	210	162	165.85	101.85	10.6	10.6	11.1	10.8	0.3	2.80	7.94	4.69	0.023
368	308	249	186	171.70	107.70	13.8	13.6	14.5	14.0	0.5	3.20	9.08	5.36	0.022
444	370	294	214	177.35	113.35	17.0	17.5	18.4	17.6	0.7	3.65	10.35	6.11	0.022
544	449	353	250	183.55	119.55	21.9	22.1	23.7	22.6	1.0	4.15	11.77	6.95	0.021
623	519	401	278	188.00	124.00	25.8	26.7	28.3	27.3	1.2	4.55	12.91	7.62	0.022
766	623	489	327	194.00	130.00	32.9	31.4	36.8	33.7	2.2	5.05	14.33	8.46	0.022
930	756	577	385	200.00	136.00	40.0	41.3	44.2	41.8	2.2	5.65	16.03	9.46	0.021
1190	965	733	482	208.05	144.05	51.8	53.5	57.8	54.4	3.1	6.55	18.78	10.97	0.021
1482	1199	903	586	215.50	151.50	65.1	68.2	73.0	67.8	4.0	7.40	20.90	12.39	0.021
1780	1436	1077	692	221.65	157.65	79.2	82.8	88.6	83.5	4.7	8.15	23.12	13.65	0.021
2076	1672	1235	787	226.65	162.65	90.7	96.1	103.2	96.7	6.3	8.75	24.82	14.65	0.021
1814	1463	1097	704	222.10	158.10	80.8	84.4	90.5	85.2	4.9	8.20	23.26	13.73	0.021
1541	1244	937	606	216.95	152.95	64.4	70.8	76.2	71.8	4.0	7.55	21.42	12.64	0.021
1257	1018	790	504	209.85	145.85	55.0	57.2	61.2	57.8	3.1	6.70	19.01	11.22	0.021
952	774	591	394	200.80	136.80	41.0	42.2	45.4	42.9	2.3	5.75	16.31	9.63	0.021
975	633	488	331	194.30	130.30	32.7	33.4	36.2	34.1	1.9	5.05	14.33	8.46	0.022
656	540	419	290	189.45	125.45	26.7	27.9	29.7	28.1	1.5	4.60	13.05	7.70	0.022
553	457	359	254	184.00	120.00	22.1	22.6	24.2	23.0	1.1	4.20	11.91	7.03	0.021

Huomautuksia:

Päiväys: 1.3.1978

Anna Suoksa

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriosaisto
Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Tuliputki
Valmistaja: Palcheimo Yhtymä, Riihimäki

dsi	69 mm	L ₀	5625 mm
d _{ui}	99 mm	L ₁	4345 mm
Asi	3521 mm	L ₂	4338 mm
T	15,5 °C	L ₃	4343 mm
ν	1,135 · 10 ⁻⁴ s ² /m	L ₄	13026 mm
h ₀	64,00	L ₅	

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ F ₂ L ₁ [%]	P ₂ P ₃ L ₂ [%]	P ₃ P ₄ L ₃ [%]	h _F /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
25	457	380	302	219	178,25	114,25	19,7	18,0	19,1	18,3	0,7	3,70	10,50	6,20	0,022
26	404	338	271	200	174,50	110,50	15,4	16,3	16,3	15,6	0,6	3,45	9,79	5,78	0,021
27	333	281	229	174	168,80	104,80	12,0	12,0	12,7	12,2	0,4	3,00	8,51	5,02	0,022
28	271	232	192	150	162,70	98,70	9,0	9,2	9,8	9,3	0,4	2,60	7,38	4,36	0,022
29	202	176	150	124	153,90	89,90	6,0	6,0	6,0	6,0	0	2,05	5,82	3,44	0,023
30	175	154	134	113	149,60	85,60	4,8	4,6	4,8	4,7	0,1	1,80	5,11	3,02	0,024
31	130	116	105	93	140,35	76,35	3,2	2,5	2,8	2,8	0,4	1,35	3,83	2,26	0,025
32	86	79	75	70	126,80	62,80	1,6	0,9	1,2	1,2	0,4	0,80	2,27	1,34	0,031
33	58	55	54	53	113,65	49,65	0,7	0,2	0,2	0,4	0,3	0,45	1,28	0,76	0,032

Huomautuksia: _____ Päiväys: 1.3.1978
(Aurto Suoritus)

$h_{c/l} [\text{‰}]$

100

10

1

0.1

1

10

$Q [\text{l/s}]$

x = kasvava virtaama

o = vähenevä virtaama

f 0.050

0.010

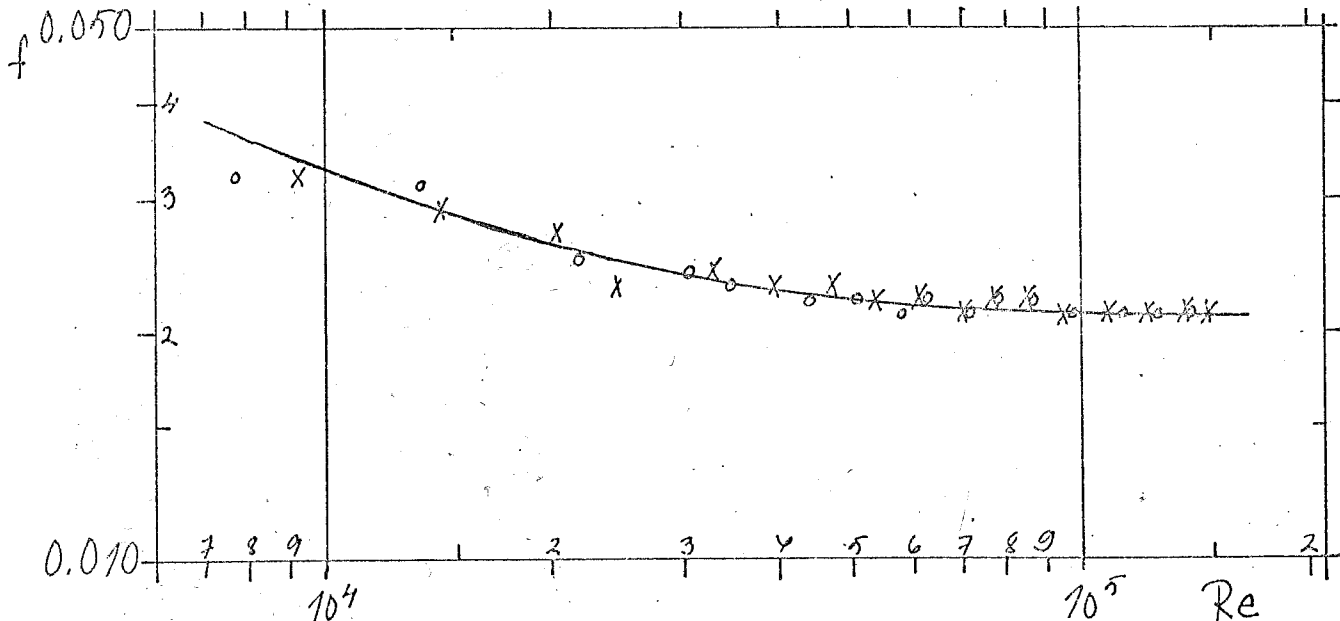
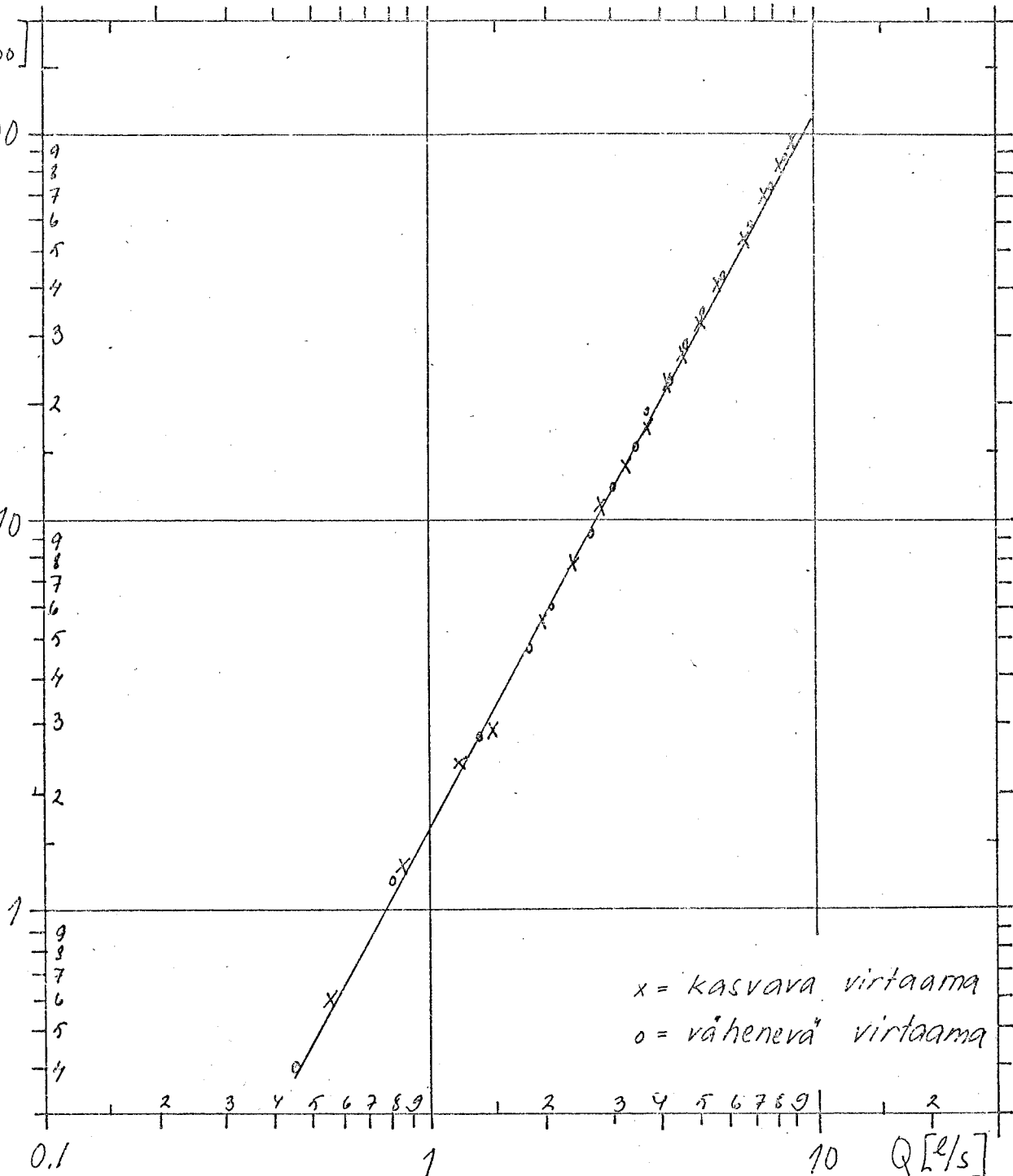
10^4

10^5

Re

Tiiliputki, $d_{si} = 67 \text{ mm}$

$d_{ii} = 99 \text{ mm}$, $T = 15.5 \text{ °C}$



TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppituuoli

Putkityyppi: Tiili putki

Valmistaja: Rakohelmo Yhtymä Raahimäki

dsi	81 mm	L ₀	4536 mm
d ₁₁	129 mm	L ₁	5008 mm
Asi	5140 mm ²	L ₂	5359 mm
T	16.0 ‰	L ₃	5383 mm
v	1.120.16 m ³ /s	Σ L _i	16030 mm
h ₀	64.00		

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ -P ₂ [%]	P ₂ -P ₃ [%]	P ₃ -P ₄ [%]	h _f /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ³	f
65	60	59	59	122.55	58.55	0.6	0.4	0.2	0.4	0.2	0.65	1.26	0.91	0.070
90	87	83	76	138.10	74.10	1.1	0.7	1.3	1.0	0.3	1.25	2.40	1.76	0.027
122	112	102	91	149.35	85.35	1.9	1.9	2.0	1.9	0.1	1.80	3.70	2.53	0.025
176	156	135	112	164.20	100.20	3.8	9.9	4.3	4.0	0.3	2.70	5.25	3.80	0.023
229	199	166	130	174.20	110.20	5.7	6.2	6.7	6.2	0.5	3.40	6.61	4.78	0.023
308	263	212	153	185.35	121.35	8.5	9.6	11.0	9.7	1.3	4.25	8.27	5.98	0.023
374	315	249	171	192.40	128.40	11.1	12.4	14.7	12.7	1.8	4.95	9.63	6.96	0.022
440	375	291	191	199.55	135.55	14.1	15.7	18.6	16.1	2.3	5.60	10.89	7.88	0.022
520	431	330	208	204.65	140.65	17.3	18.9	22.7	19.6	2.8	6.15	11.96	8.65	0.022
642	525	396	238	212.40	148.40	22.0	24.2	29.4	25.2	3.8	7.05	13.72	9.92	0.021
745	606	453	260	217.90	153.90	26.2	28.7	35.3	30.1	4.7	7.65	14.88	10.76	0.022
904	730	541	301	225.40	161.40	32.8	35.4	44.6	37.6	6.2	8.60	16.73	12.10	0.021
1094	879	676	347	232.65	168.65	40.5	43.6	55.5	46.5	7.9	9.65	18.79	13.57	0.021
1368	1093	798	404	241.55	177.55	51.8	55.3	73.2	60.1	11.5	11.05	21.50	15.55	0.021
1653	1314	949	458	249.60	185.60	63.9	68.4	91.2	74.5	14.6	12.40	24.12	17.44	0.020
1959	1550	1113	520	256.55	192.55	77.1	81.9	110.2	89.7	17.9	13.65	26.76	19.21	0.020
2184	1723	1231	566	261.65	197.65	86.9	92.2	123.5	100.9	19.8	14.50	28.21	20.70	0.020
1865	1496	1059	497	254.90	190.90	73.3	78.1	104.4	85.3	16.7	13.30	25.88	18.72	0.020
1505	1198	864	419	246.25	182.25	57.8	62.6	82.7	67.7	13.2	11.80	22.96	16.60	0.020
1198	955	695	354	236.75	172.75	45.8	48.9	63.3	52.6	9.4	10.20	19.84	14.37	0.021
953	771	566	304	228.00	164.00	35.4	38.4	48.7	40.8	7.0	8.95	17.41	12.59	0.021
794	643	476	268	220.70	156.70	28.4	31.3	38.6	32.8	5.3	7.95	15.47	11.19	0.022
648	529	397	235	212.90	148.90	22.4	24.7	30.1	25.7	4.0	7.10	13.81	9.99	0.021
533	439	334	209	205.50	141.50	17.7	19.7	23.2	20.2	2.8	6.35	12.16	8.79	0.022

Huomautuksia:

Päiväys: 6.3. 1978

(Handwritten signature)

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriosaasto

Vesitalouden oppituuoli

Putkityyppi: Tiiliputki
 Valmistaja: Ralohelmo Yhtymä Riihimäki

d _{si}	81 mm	L ₀	4538 mm
d _{ui}	120 mm	L ₁	5308 mm
Asi	5140 mm	L ₂	5339 mm
T	16,0 °C	L ₃	5380 mm
v	1.120 · 10 ⁻⁶ m ³ /s	ΣL _i	16030 mm
h ₀	64,00 mm	h ₁	

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h - h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ L ₁ [%]	P ₁ P ₂ P ₃ [%]	P ₁ P ₂ P ₃ L ₁ [%]	h _f /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
440	378	289	189	199,20	135,26	14,9	15,7	18,6	14,2	2,2	5,60	10,89	7,89	0,022
377	317	249	170	192,70	128,70	11,9	12,7	14,7	12,9	1,7	4,95	9,63	6,96	0,022
345	292	232	163	189,45	125,45	10,0	11,2	12,8	11,9	1,4	4,65	9,05	6,55	0,022
288	246	200	148	182,55	118,55	7,9	8,6	9,7	8,7	0,9	4,10	7,98	5,77	0,022
225	197	165	130	173,45	109,45	5,3	6,0	6,5	5,9	0,6	3,35	6,52	4,72	0,022
160	144	125	107	160,00	96,00	3,0	3,6	3,9	3,9	0,3	2,40	4,67	3,38	0,024
109	96	89	83	141,90	77,90	1,3	1,9	1,1	1,2	0,1	1,40	2,72	1,97	0,026

Huomautuksia: _____ Päiväys: 6.3.1978
Muokaus

$\eta_{1/2}$ [%]

100

9
8
7
6
5
4
3
2
1

- - - = ensimmäinen mittausväli (L_1)
- · - · = toinen mittausväli (L_2)
- · · · = kolmas mittausväli (L_3)
- = edellisten keskiarvo

x = kasvava virtaama
o = vähenevä virtaama

10

1

3 4 5 6 7 8 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 2 3 4 5 6

1

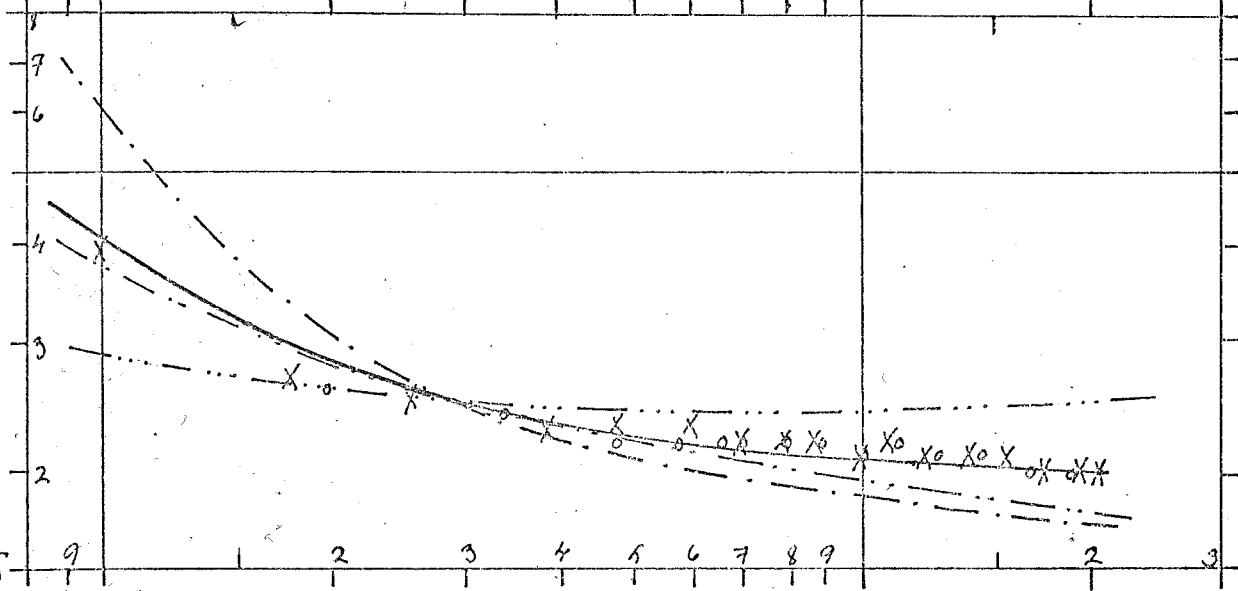
10

$Q [l/s]$

f

0.050

0.025



Tiiliputki, $d_{si} = 81 \text{ mm}$
 $d_{ui} = 129 \text{ mm}$, $T = 16.0 \text{ }^\circ\text{C}$

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppitunti

dsj	81 mm	L ₀	12192
d ₁₁	129 mm	L ₁	5308
A ₅₁	5140 mm ²	L ₂	5339
T	16.5 °C	L ₃	5389
v	1.105.16 m ³ /s	L ₄	16090
h ₀	63.00 mm	L ₅	

Putkityyppi: Tiiliputki

Valmistaja: Pataloheimo Yhtymä, Riitheimäki

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ [%∞]	P ₂ P ₃ [%∞]	P ₃ P ₄ [%∞]	h ₁ /l [%∞]	s [%∞]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁻²	λ
195	173	145	116	170.85	106.85	4.4	5.2	5.4	5.0	0.5	3.10	6.03	4.42	0.022
230	200	164	125	176.85	112.85	5.7	6.7	7.2	6.5	0.8	3.60	7.00	5.13	0.021
296	254	199	140	186.60	122.60	7.0	10.3	11.0	9.7	1.6	4.40	8.56	6.27	0.021
358	303	233	153	194.00	130.00	10.4	13.1	14.9	12.8	2.3	5.05	9.82	7.20	0.021
416	355	263	165	199.75	135.75	11.5	17.2	18.2	15.6	2.6	5.60	10.89	7.98	0.021
423	435	319	182	208.55	144.55	16.6	21.7	25.5	21.3	4.5	6.60	12.84	9.41	0.021
612	507	365	200	214.85	150.85	19.8	26.6	30.7	25.7	5.5	7.30	14.26	10.45	0.020
734	603	429	220	221.85	157.85	24.7	32.6	38.8	32.0	7.1	8.15	15.86	11.63	0.020
900	735	516	247	228.85	165.85	31.1	41.0	50.0	40.7	9.5	9.15	17.80	13.05	0.020
1073	873	606	275	237.10	173.10	37.7	50.0	61.5	49.7	11.9	10.30	20.04	14.69	0.020
1292	1049	718	304	244.60	180.60	46.2	61.6	76.9	61.5	15.4	11.55	22.44	16.44	0.019
1050	855	594	272	236.15	172.15	36.7	48.9	59.8	48.5	11.6	10.10	19.65	14.40	0.020
904	741	519	249	238.25	166.25	31.3	41.6	50.2	41.0	9.5	9.25	18.00	13.19	0.020
456	620	441	224	222.75	158.75	25.6	33.5	40.3	33.1	7.4	8.25	16.05	11.74	0.020
614	511	368	200	214.90	150.90	20.0	26.8	31.2	26.0	5.6	7.30	14.20	10.41	0.020
532	442	324	185	209.25	145.25	17.0	22.1	25.8	21.6	4.4	6.70	13.04	9.56	0.020
450	374	281	171	202.65	138.65	15.8	18.0	20.4	17.4	3.3	5.95	11.58	8.49	0.021
364	311	239	155	194.90	130.90	10.6	13.5	15.6	13.2	2.5	5.10	9.92	7.27	0.021
309	264	204	144	188.00	124.00	8.4	10.7	11.7	10.3	1.7	4.55	8.85	6.79	0.021
252	218	176	131	180.00	116.00	6.4	7.9	8.4	7.6	1.0	3.85	7.48	5.78	0.022
204	182	151	119	172.35	108.35	4.7	5.8	5.9	5.5	0.9	3.25	6.32	4.65	0.022
155	140	121	104	160.60	96.60	2.8	3.6	3.2	3.2	0.4	2.45	4.74	3.50	0.022
104	99	91	84	144.35	80.35	1.5	1.5	1.3	1.4	0.1	1.55	3.02	2.21	0.024
44	43	41	41	105.75	41.75	0.2	0.3	0	0.2	0.2	0.27	0.59	0.29	0.113

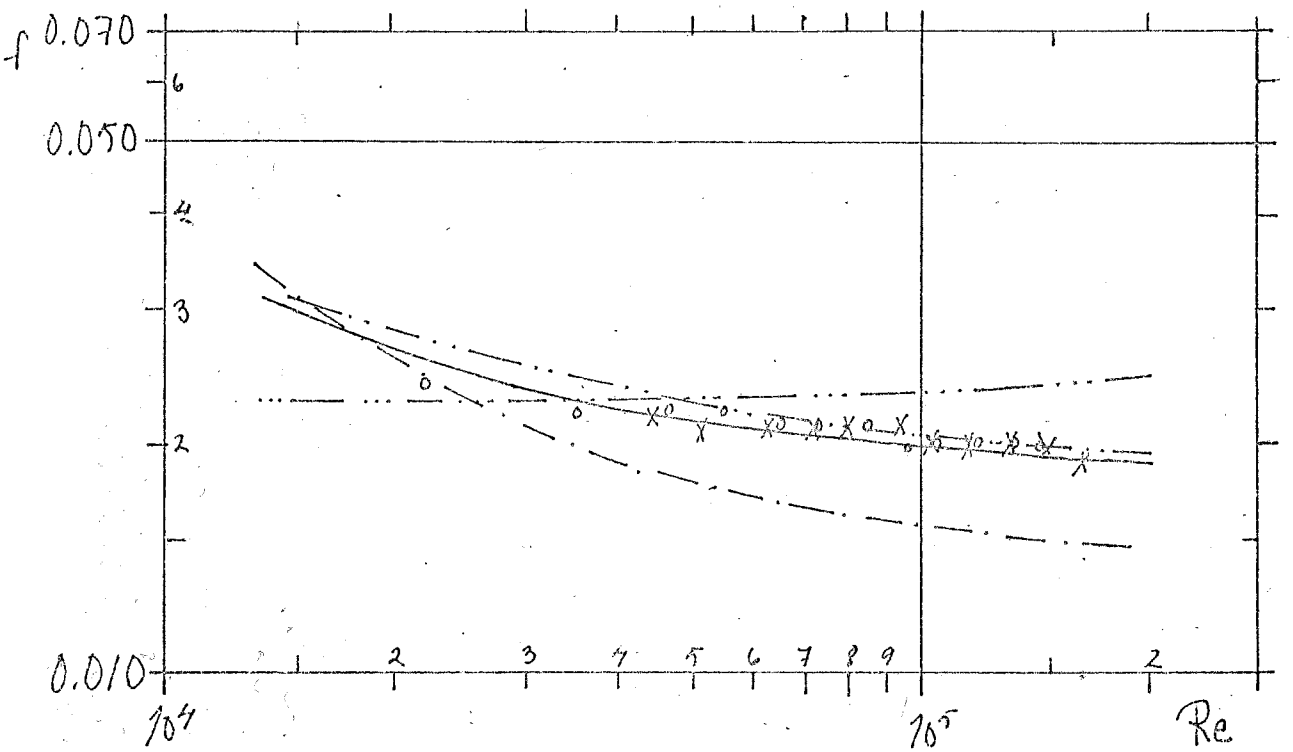
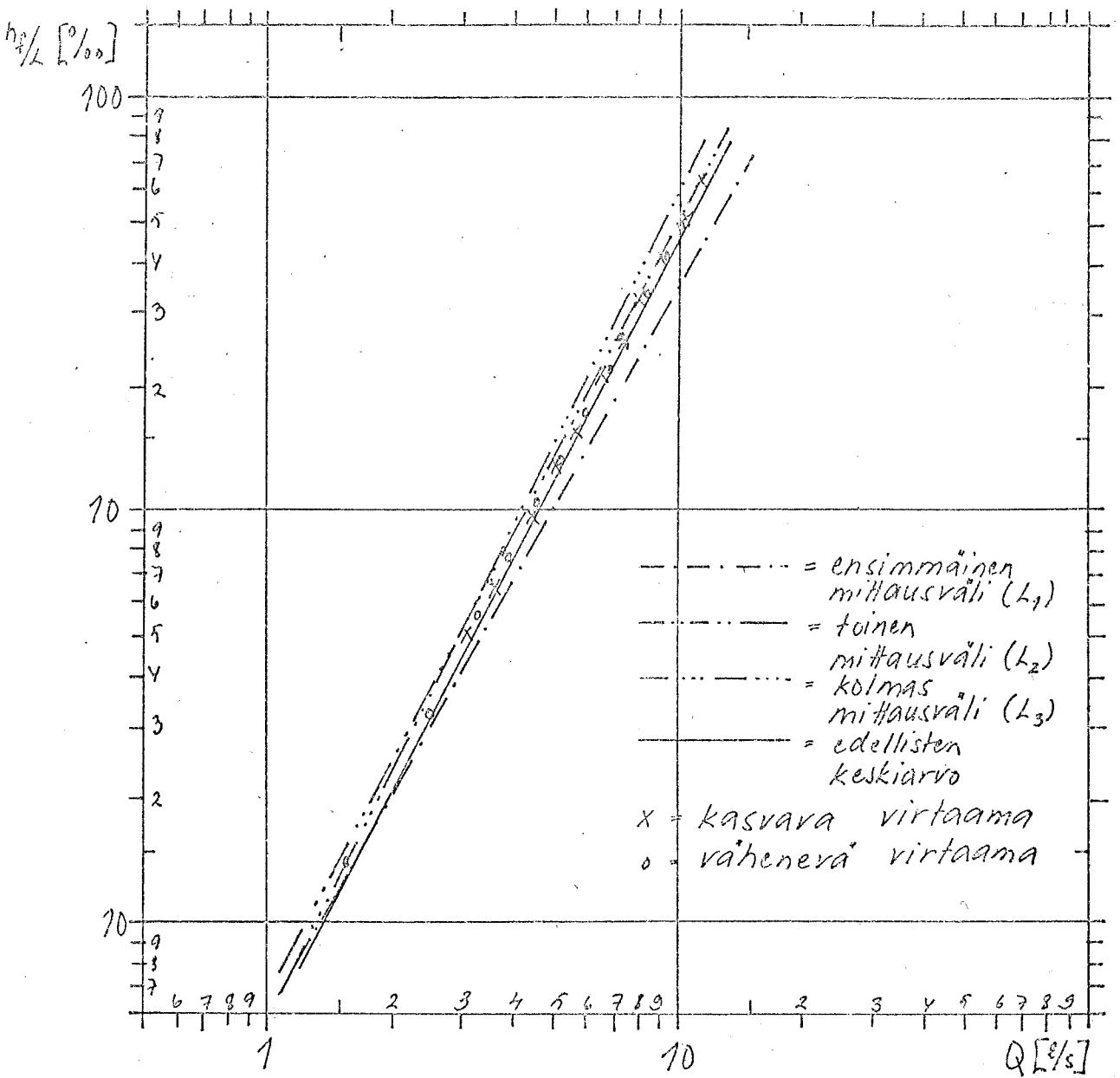
Huomautuksia:

Uusinta. (Ulo -puolta midealety.)

Päiväys:

8.3. 1978

(Uusinta suoritti)



Tiiliputki, $d_{si} = 81 \text{ mm}$
 $d_{ui} = 129 \text{ mm}$, $T = 16.5^\circ\text{C}$ (Uusinta)

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriosaisto
Vesitalouden oppituuoli

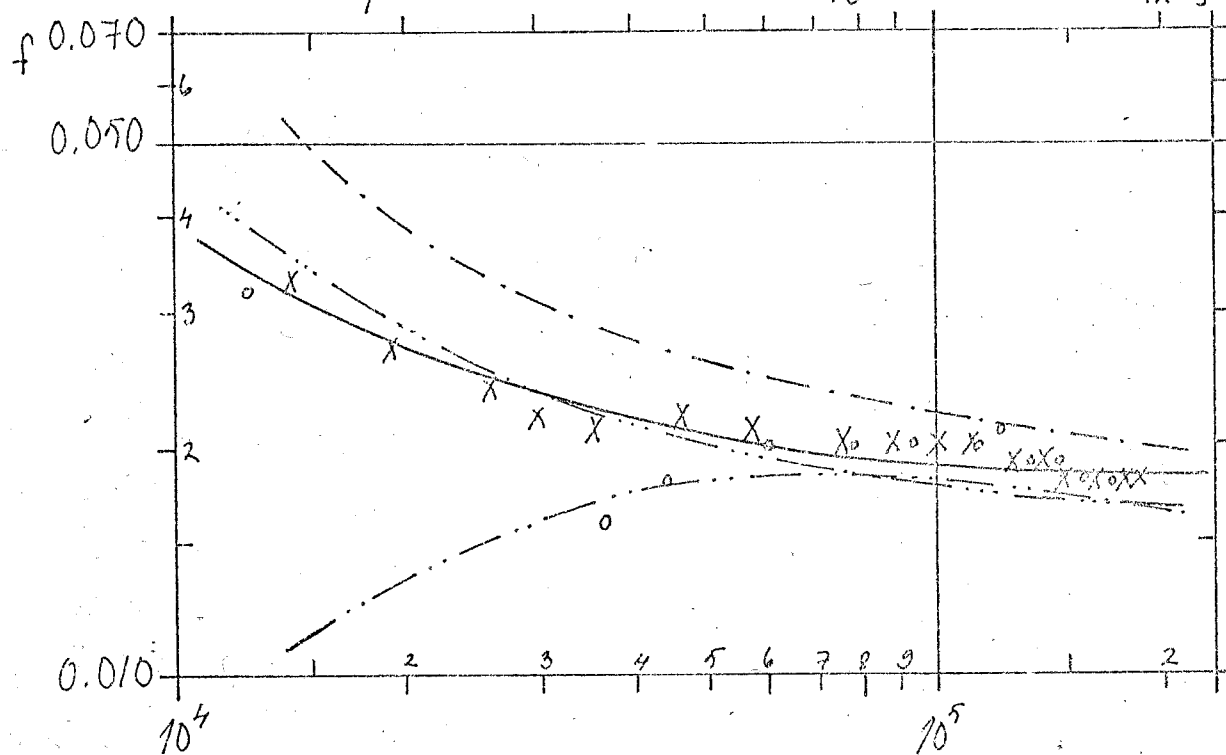
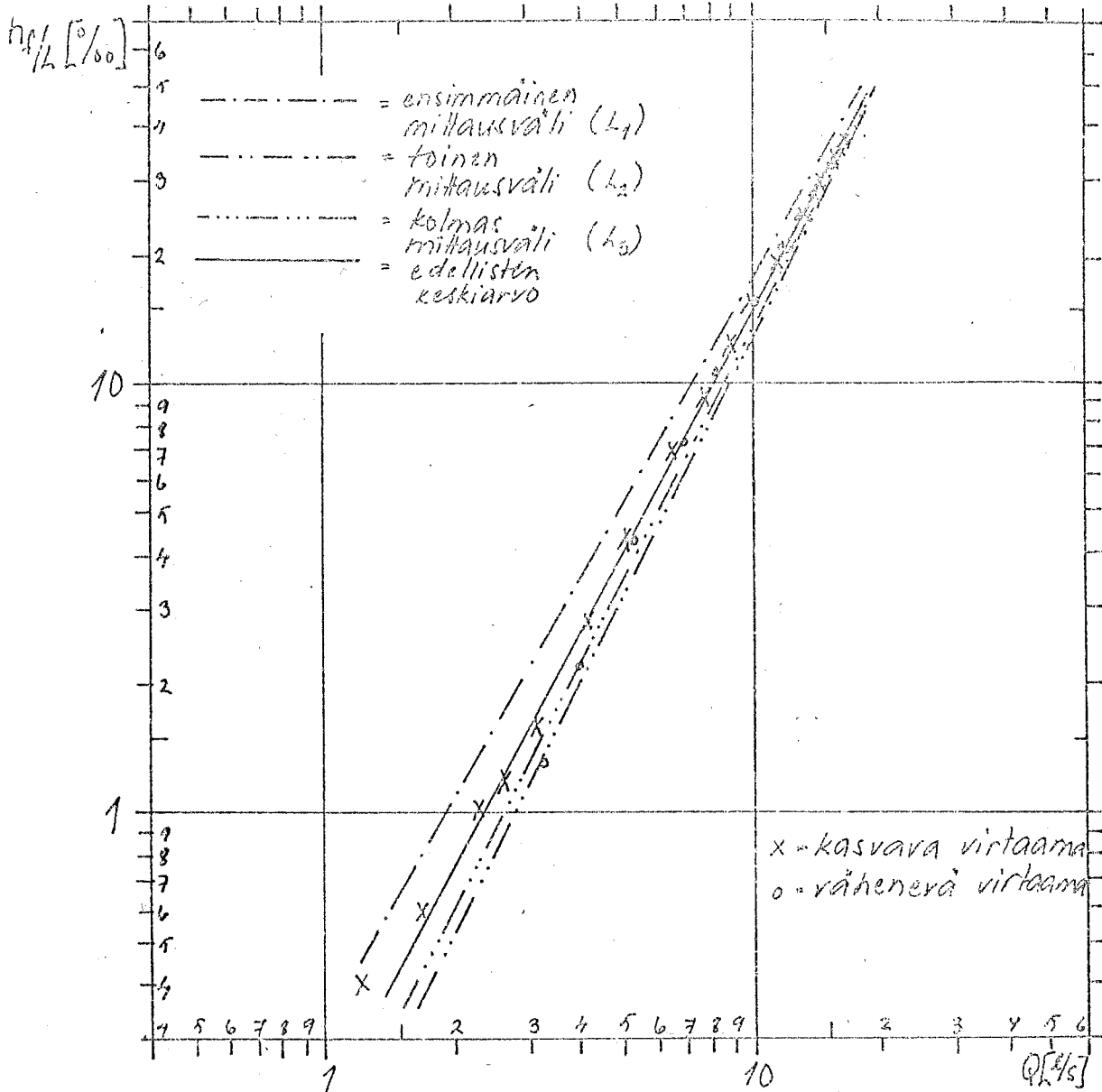
Putkityyppi: Tiiliputki
Valmistaja: Paloheimo Yhtymä, Riitihimäki

dsi	101 mm	L ₀	4883 mm
d _{ui}	160 mm	L ₁	6831 mm
Asi	8075 mm	L ₂	6750 mm
T	16,5 °C	L ₃	6615 mm
v	1,105 · 10 ⁻⁶ m ³ /s	ΣL _i	20196 mm
h _a	64,00		

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h _i [mm]	h _i -h ₀ [mm]	P ₁ -P ₂ [%]	P ₂ -P ₃ [%]	P ₃ -P ₄ [%]	P ₄ -L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁻⁴	f
82	78	78	75	138,35	74,35	0,6	0	0,5	0,4	0,3	1,25	1,55	1,72	0,033
98	92	90	86	147,90	83,90	0,9	0,3	0,6	0,6	0,3	1,70	2,11	1,90	0,027
118	109	105	98	158,25	94,25	1,3	0,6	1,1	1,0	0,4	2,30	2,85	2,60	0,024
130	119	113	106	163,20	99,20	1,6	0,9	1,1	1,2	0,4	2,65	3,28	3,00	0,022
148	134	125	115	170,30	106,30	2,0	1,3	1,5	1,6	0,4	3,15	3,90	3,56	0,021
191	169	152	135	183,15	119,15	3,5	2,2	2,6	2,8	0,7	4,10	5,08	4,64	0,022
241	205	180	154	194,55	130,55	5,3	3,7	3,9	4,3	0,9	5,10	6,32	5,72	0,021
323	268	226	183	208,60	144,60	8,1	6,2	6,5	6,9	1,0	6,60	8,17	7,47	0,020
400	324	266	211	218,35	154,35	11,1	8,6	8,3	9,9	1,5	7,75	9,60	8,77	0,020
489	389	313	236	227,60	163,60	14,6	11,3	11,6	12,5	1,8	8,90	11,02	10,07	0,020
579	454	360	265	235,00	171,00	18,3	13,9	14,4	15,5	2,4	9,90	12,26	11,21	0,020
684	533	416	299	243,30	179,30	22,1	17,3	18,0	19,1	2,6	11,35	14,06	12,87	0,019
769	601	465	326	249,15	185,15	24,6	20,1	21,0	21,9	2,4	12,35	15,23	13,92	0,019
849	666	511	354	253,60	189,60	26,8	23,0	23,7	24,5	2,0	13,10	16,22	14,83	0,018
986	764	599	399	261,55	197,55	32,5	27,4	28,1	29,3	2,8	14,50	17,96	16,42	0,018
1102	847	636	423	267,25	203,25	37,3	31,3	32,2	33,6	3,2	15,60	19,33	17,66	0,018
1189	907	692	446	271,60	207,60	41,3	34,8	34,2	36,8	3,9	16,45	20,39	18,62	0,018
1042	800	601	401	264,75	200,75	35,4	29,5	30,2	31,7	3,2	15,10	18,20	17,09	0,018
927	718	544	398	258,55	194,55	30,4	25,8	25,1	27,2	3,0	13,95	17,28	15,79	0,018
827	645	495	370	252,85	188,85	26,6	22,2	23,4	24,1	2,3	12,95	16,04	14,66	0,019
919	554	427	300	246,10	182,10	24,2	18,1	19,2	20,7	3,0	11,80	14,61	13,35	0,019
594	451	355	264	235,70	171,70	18,4	14,2	13,8	15,5	2,5	10,05	12,45	11,32	0,020
442	354	287	226	229,25	159,25	12,9	9,9	9,2	10,7	2,0	8,30	10,28	9,40	0,020
340	280	235	194	211,25	147,25	8,8	6,7	6,2	7,2	1,4	6,90	8,54	7,81	0,020

Päiväys: 14.3.1978

Huomautuksia: Uuden lauantai



Tiiliputki, $d_{si} = 101$ mm
 $d_{ui} = 160$ mm
 $T = 16.5$ °C

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Tiiliputki

Valmistaja: Paloheimo Yhtymä, Riihimäki

d_{si}	136 mm	L_0	6673 mm
d_{ui}	190 mm	L_1	8665 mm
A_{si}	14463 mm ²	L_2	8614 mm
T	12,5 °C	L_3	8663 mm
ν	1,225/16 m ² /s	ΣL_i	25942 mm
h_a	64,00	h_i	

	P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h-h_0$ [mm]	$P_1 P_2 P_3 P_4$ [%]	$P_2 P_3 P_4$ [%]	$P_3 P_4$ [%]	P_4 [%]	h_1/L [%]	s [%]	$Q(10^{-3} m^3/s)$	$v(10^{-1} m/s)$	$Re \cdot 10^4$	i
1	56	49	49	49	112,85	48,25	0	0	0,8	0,8	0,2		0,40	0,28	0,31	
2	99	96	93	92	152,65	88,65	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1	1,95	1,35	1,50	0,029
3	116	111	108	105	163,45	99,45	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0	2,65	1,83	2,03	0,032
4	134	129	124	119	173,65	109,65	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0	3,35	2,32	2,58	0,030
5	159	151	143	132	184,50	120,50	0,9	0,9	0,9	0,9	1,4	0,2	4,20	2,90	3,22	0,032
6	188	175	164	153	194,30	130,30	1,3	1,3	1,3	1,3	2,0	0,1	5,10	3,53	3,92	0,030
7	239	216	198	182	208,15	144,15	2,0	2,0	2,0	2,0	3,2	0,2	6,55	4,53	5,03	0,026
8	301	273	245	219	222,60	158,60	3,2	3,2	3,2	3,2	4,3	0,2	8,20	5,67	6,29	0,027
9	361	324	287	251	232,90	168,90	4,3	4,3	4,3	4,3	5,7	0,1	9,60	6,64	7,39	0,026
10	447	393	346	297	244,20	180,20	5,5	5,5	5,5	5,5	7,8	0,4	11,45	7,92	8,79	0,025
11	522	465	407	345	252,50	182,50	6,6	6,6	6,6	6,6	10,8	0,3	12,90	8,92	9,90	0,023
12	630	559	484	403	262,65	192,65	8,2	8,2	8,2	8,2	14,3	0,6	14,65	10,13	11,25	0,023
13	791	645	549	449	271,55	201,55	9,9	9,9	9,9	9,9	18,8	0,8	16,45	11,39	12,62	0,022
14	889	797	656	529	283,00	213,00	12,9	12,9	12,9	12,9	23,9	0,9	18,75	12,96	14,39	0,022
15	1046	913	762	604	291,55	221,55	15,5	15,5	15,5	15,5	30,0	1,5	20,60	14,24	15,81	0,022
16	1192	1026	860	673	300,00	236,00	19,2	19,2	19,2	19,2	38,9	1,4	22,45	15,52	17,23	0,022
17	1341	1148	959	742	307,00	243,00	22,3	22,3	22,3	22,3	49,7	1,7	24,25	16,77	18,62	0,022
18	1094	944	794	623	295,45	231,45	17,4	17,4	17,4	17,4	23,1	1,7	21,40	14,80	16,43	0,022
19	856	744	631	505	281,75	217,75	13,1	13,1	13,1	13,1	18,1	0,9	18,45	12,96	14,17	0,022
20	719	629	539	438	271,85	207,85	10,4	10,4	10,4	10,4	13,8	0,8	16,45	11,57	12,62	0,022
21	616	544	468	386	263,25	199,25	8,3	8,3	8,3	8,3	9,9	0,6	14,70	10,16	11,28	0,023
22	535	474	413	345	255,45	191,45	7,0	7,0	7,0	7,0	7,3	0,4	13,40	9,27	10,29	0,023
23	484	425	372	314	248,65	184,65	6,8	6,8	6,8	6,8	6,6	0,3	12,20	8,40	9,33	0,025
24	400	356	315	272	238,45	174,45	5,1	5,1	5,1	5,1	5,0	0,2	10,50	7,26	8,06	0,025

Huomautuksia:

Päiväys: 21.3.1978

Arvola Suorikari

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööri-osasto

Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Tiiliputki

Valmistaja: Palohelmo Yhtymä, Riihimäki

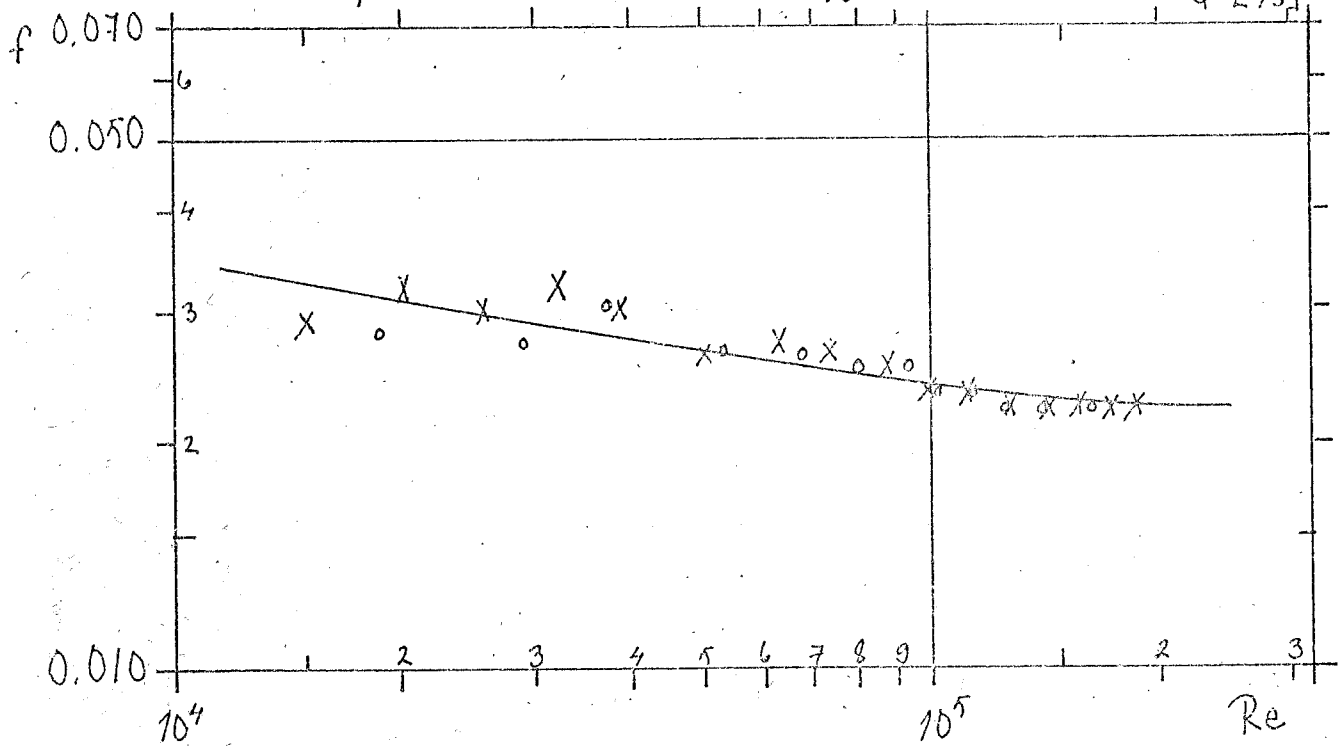
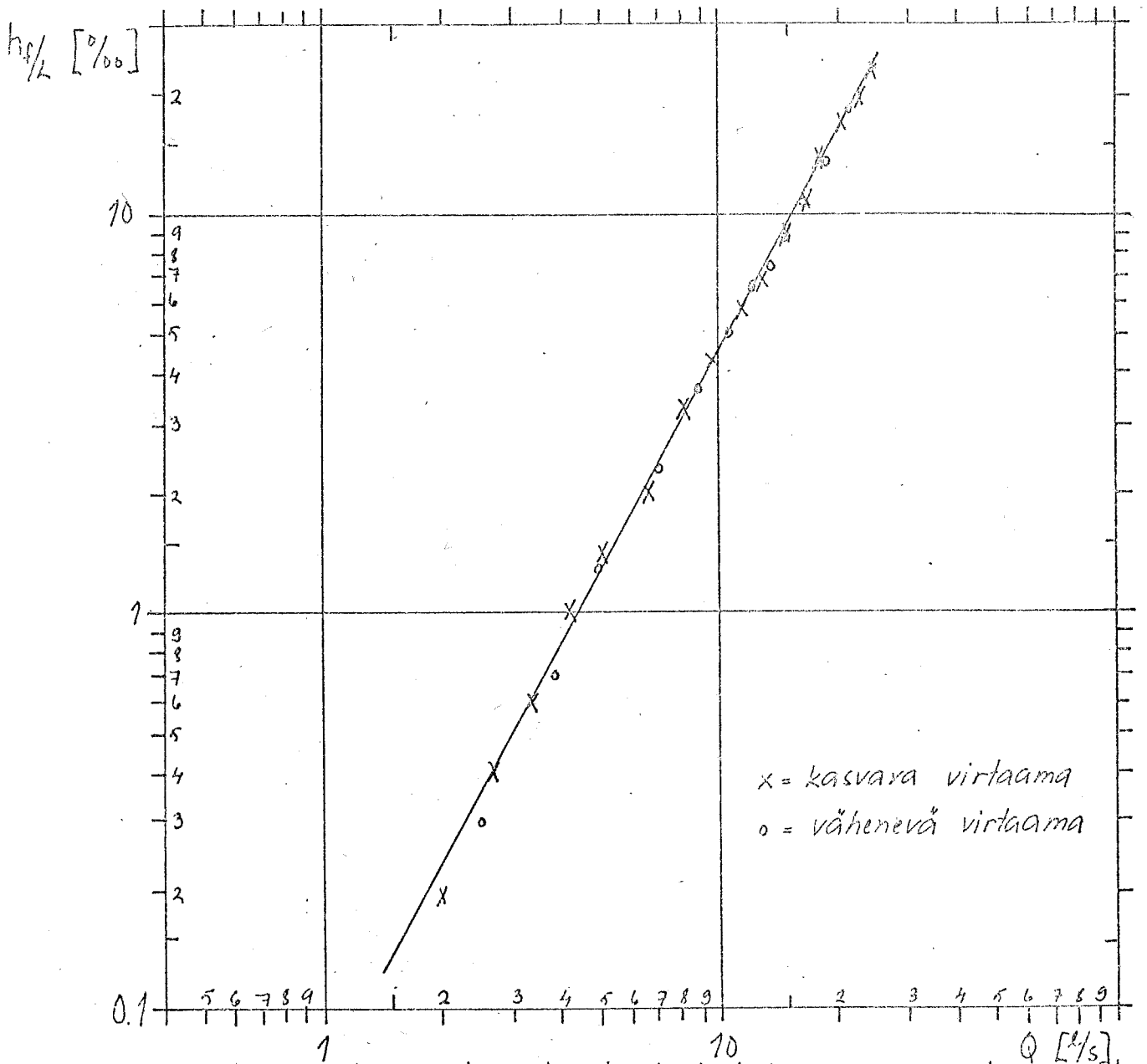
d_{si}	136 mm	L_0	6673 mm
d_{ul}	190 mm	L_1	8665 mm
d_{si}	14463 mm ²	L_2	8614 mm
T	12,5 °C	L_3	8663 mm
v	1,22516 m/s	ΣL_i	25942 mm
h_0	64,00		

	P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h-h_0$ [mm]	$P_1 P_2 P_3 P_4$ [%]	$P_1 P_2 P_3 P_4$ [%]	$P_1 P_2 P_3 P_4$ [%]	h_f/L [%]	s [%]	Q_{10-3} [m/s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	t
25	328	297	265	234	227,70	163,70	3,4	3,7	3,6	3,6	0,2	8,85	6,12	6,73	0,026
26	250	233	210	191	212,25	148,25	2,0	2,7	2,2	2,3	0,4	7,00	4,84	5,39	0,026
27	181	176	159	149	192,20	126,20	1,3	1,3	1,2	1,3	0,1	4,90	3,39	3,76	0,030
28	147	140	134	139	179,15	115,15	0,7	0,7	0,6	0,7	0,1	3,80	2,63	2,92	0,027
29	112	108	105	103	160,50	96,50	0,5	0,3	0,2	0,3	0,2	2,45	1,69	1,88	0,028

Huomautuksia:

Päiväys: 21.3.1978

Antti Luoto



Tiiliputki, $d_{si} = 136$ mm
 $d_{ui} = 190$ mm, $T = 12.5$ °C

TEKNILINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Tiiliputki

Valmistaja: Paloheimo Yhtymä, Riuhimäki

dsj	162 mm	L ₀	1151 mm
d ₁₁	230 mm	L ₁	10335 mm
A ₅₁	20612 mm	L ₂	16492 mm
T	14,5 °C	L ₃	10740 mm
v	1.165.10 ⁶ m/s	ΣL _i	31867 mm
h _a	64.00 mm		

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ L ₁ [%]	P ₂ P ₃ L ₂ [%]	P ₃ P ₄ L ₃ [%]	h ₁ /L ₁ [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
142	138	156	155	182.45	118.45	0.4	0.2	0.3	0.3	0.1	4.00	1.94	2.70	0.025
167	157	155	148	191.90	127.90	1.0	0.4	0.5	0.6	0.3	4.85	2.35	3.27	0.035
187	175	170	163	200.00	136.00	1.2	0.5	0.7	0.8	0.4	5.65	2.74	3.81	0.034
231	214	205	195	213.90	149.90	1.6	0.8	0.9	1.1	0.4	7.20	3.49	4.85	0.039
256	236	225	213	220.65	156.65	1.9	1.0	1.1	1.3	0.5	8.00	3.88	5.40	0.029
321	290	273	255	238.15	170.15	3.0	1.6	1.7	2.1	0.8	9.80	4.75	6.61	0.030
332	306	332	305	247.30	183.30	3.5	2.2	2.5	2.7	0.7	12.00	5.82	8.09	0.025
403	458	423	385	263.00	199.00	3.4	3.2	3.5	3.7	0.2	14.80	7.18	9.98	0.021
623	591	523	470	276.20	212.20	5.0	4.4	4.9	4.8	0.3	17.30	8.39	11.67	0.020
836	812	735	652	298.00	234.00	8.1	7.1	7.7	7.6	0.5	22.00	10.67	14.84	0.021
1125	1017	915	805	317.75	247.75	10.4	9.6	10.2	10.1	0.4	25.50	12.37	17.20	0.021
1392	1256	1123	985	324.75	260.75	13.2	12.3	12.8	12.8	0.5	29.10	14.12	19.63	0.020
1581	1422	1292	1110	332.75	268.75	15.4	13.9	15.1	14.8	0.8	31.75	15.31	21.15	0.020
1772	1592	1421	1239	339.15	275.15	17.4	15.8	16.9	16.7	0.8	33.25	16.13	22.43	0.020
1963	1760	1569	1366	345.55	281.55	19.6	17.9	18.7	18.7	0.9	34.90	16.93	23.54	0.021
1580	1420	1271	1110	332.00	268.00	15.5	13.8	15.0	14.8	0.9	31.25	15.16	21.08	0.020
1277	1150	1033	908	319.10	255.10	12.3	10.8	11.6	11.6	0.8	27.45	13.32	18.52	0.021
1039	938	846	747	306.60	242.60	9.8	8.5	9.2	9.2	0.7	24.15	11.72	16.30	0.021
854	771	700	622	294.75	230.75	8.0	6.6	7.3	7.3	0.7	21.25	10.31	14.34	0.020
702	638	583	523	283.75	219.75	6.2	5.1	5.6	5.6	0.6	18.85	9.15	12.76	0.021
589	541	497	447	273.10	209.10	4.6	4.1	4.7	4.5	0.3	16.75	8.13	11.31	0.020
503	464	428	390	263.90	199.90	3.8	3.3	3.5	3.5	0.3	14.90	7.20	10.05	0.021
443	400	371	340	254.70	190.70	4.2	2.7	2.9	3.3	0.8	13.25	6.43	8.94	0.025
370	331	309	286	242.70	178.70	3.8	2.0	2.1	2.6	1.0	11.20	5.73	7.55	0.028

Huomautuksia:

Päiväys:

1.11. 1998
Tuomo Suorasti

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Tiiliputki

Valmistaja: Palohelmo Yhtymä, Riihimäki

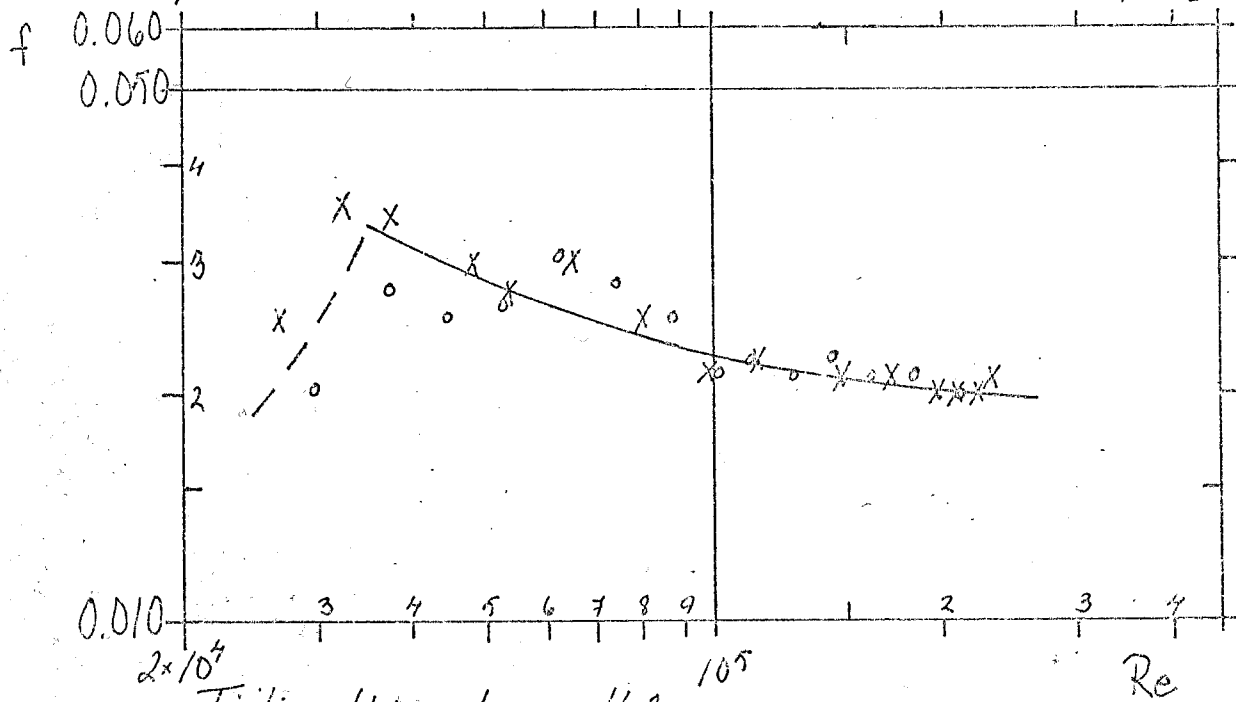
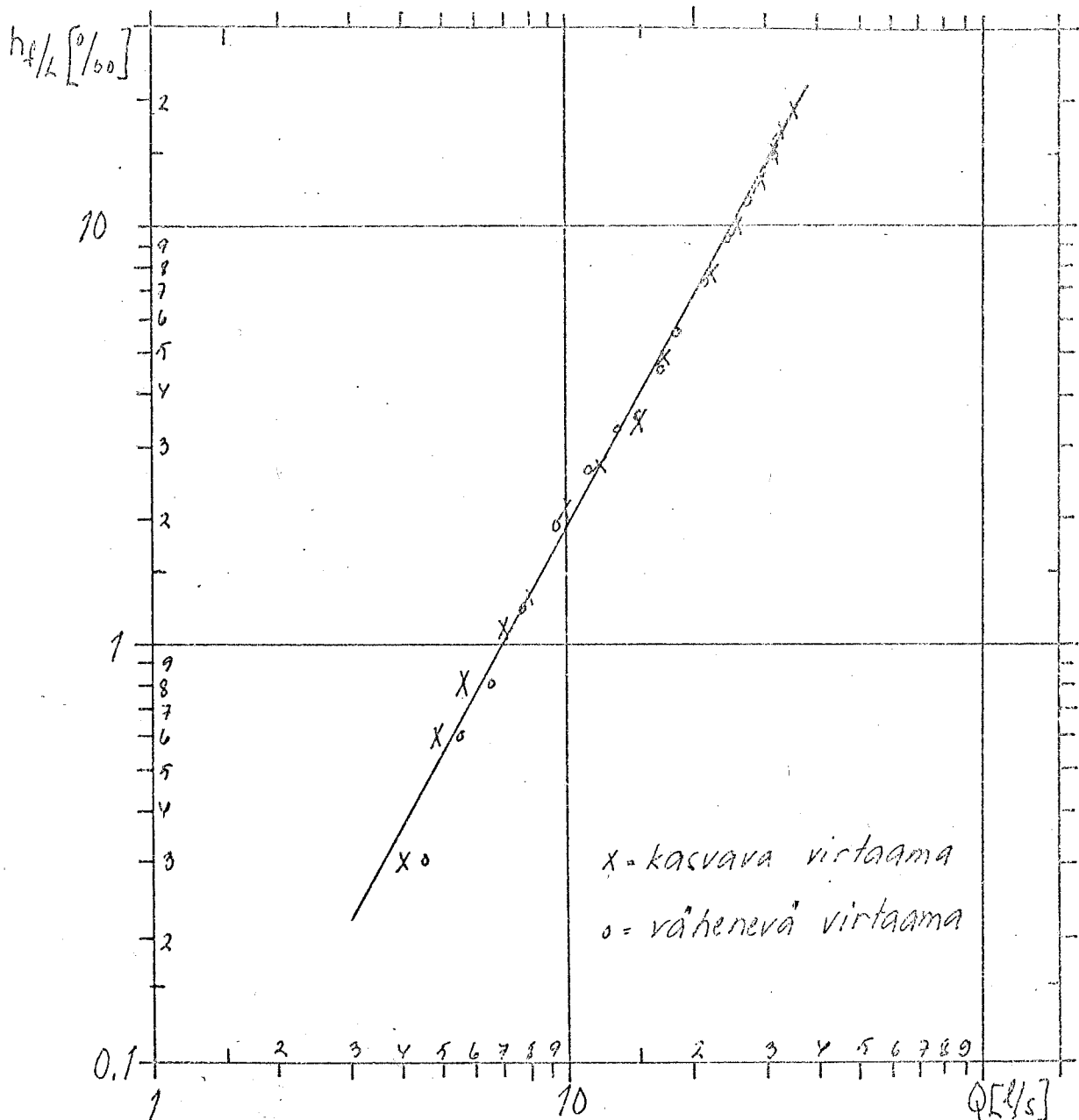
d_{si}	162 mm	L_0	1191 mm
d_{ui}	230 mm	L_1	10335 mm
A_{si}	20668 mm ²	L_2	10938 mm
T	14,5 °C	L_3	10740 mm
v	1.165 10 ⁻⁶ m ² /s	L_4	31867 mm
h_0	64.00 mm		

	P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h - h_0$ [mm]	$P_1^2 P_2$ [%]	$P_1^2 P_3$ [%]	$P_2^2 P_4$ [%]	$P_3^2 P_4$ [%]	h_1/L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re_{10^4}	f	
25	302	274	250	243	230.60	166.60	2.7	1.7	1.5	1.5	1.9	0.7	9.90	4.51	6.277	0.020	
26	250	232	222	210	219.55	155.55	1.7	0.9	1.1	0.9	1.2	0.4	7.85	3.81	5.30	0.026	
27	211	198	191	183	208.55	144.55	1.3	0.6	0.7	0.6	0.8	0.5	6.60	3.20	4.45	0.025	
28	181	172	168	162	198.55	134.55	0.9	0.4	0.6	0.4	0.6	0.3	5.90	2.67	3.91	0.027	
29	149	144	142	139	165.40	121.40	0.5	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	4.50	2.18	3.03	0.020	

Huomautuksia:

Päiväys: 1.7.1978

Tuukka Suominen



Tiiliputki, $d_{si} = 162 \text{ mm}$
 $d_{ui} = 230 \text{ mm}$
 $T = 14.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

NYSTYRÖITTEN VAIKUTUKSEN ARVIOIMINEN KÄHDellä
PUTKIKOOLLA.

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööriopisto
 Vesitalouden oppituli

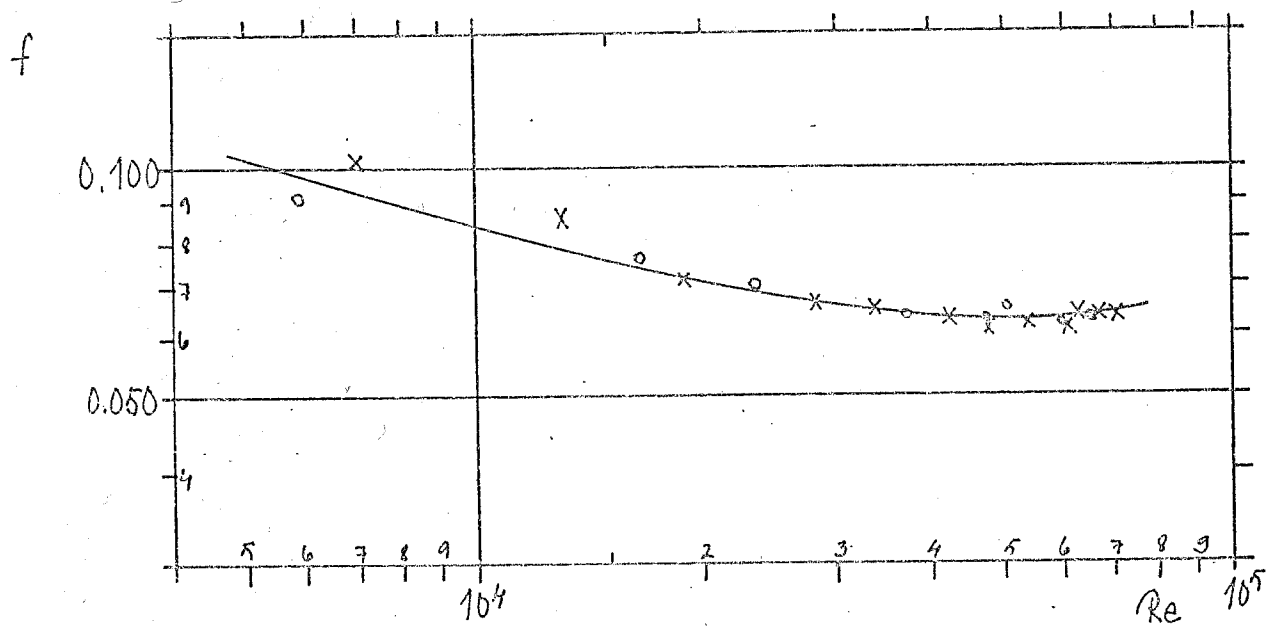
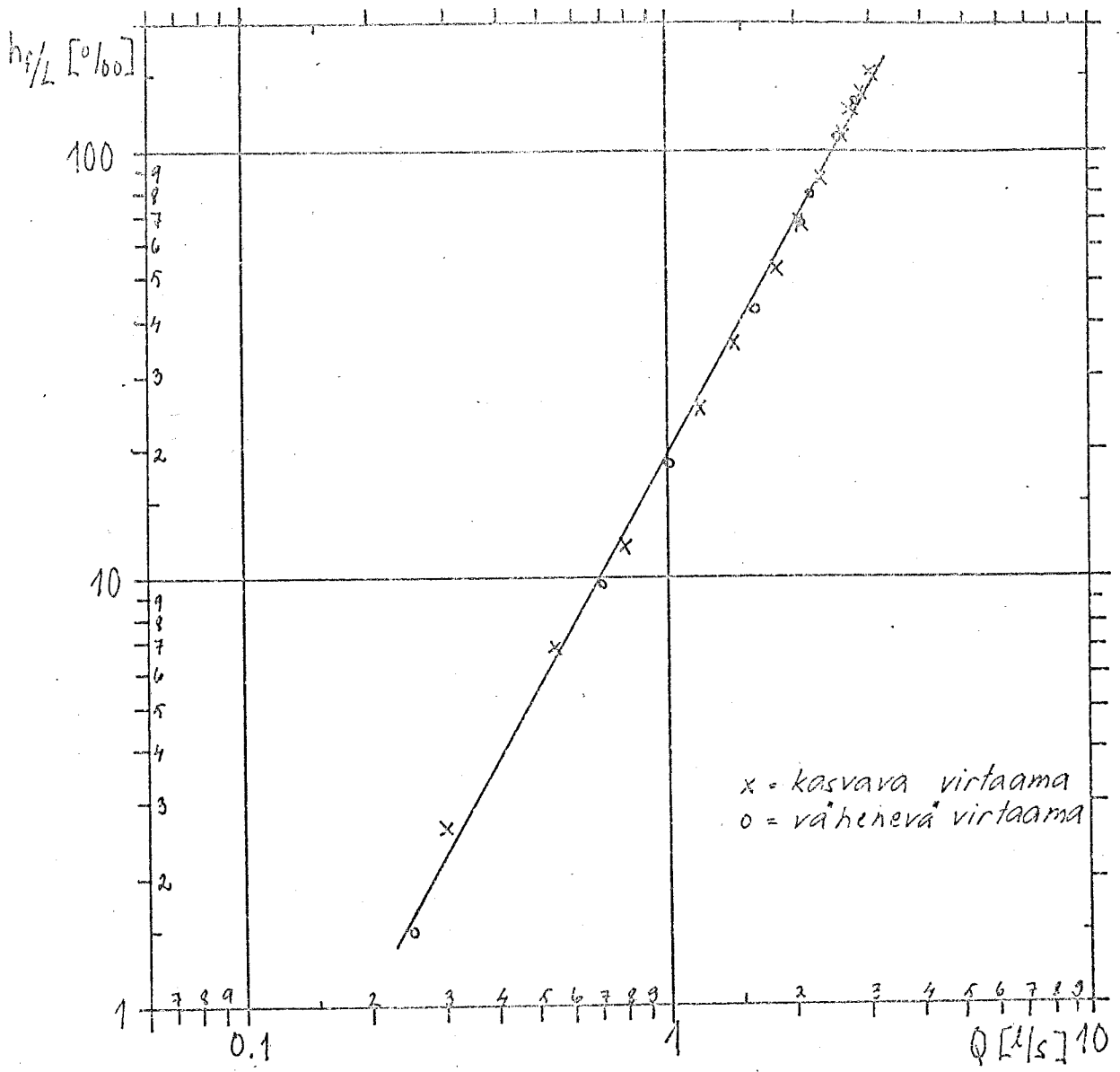
Putkityyppi: *Veto-salaojaputki*

Valmistaja:

d _{si}	50 mm	L ₀	3100 mm
d _{ul}	—	L ₁	3349 mm
A _{si}	1969 mm ²	L ₂	3380 mm
T	17.0 °C	L ₃	3427 mm
ν	1.090·10 ⁻³ m ² /s	ΣL _i	10156 mm
h ₀	64.00 mm		

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	$\frac{P_1-P_2}{L_1}$ [%]	$\frac{P_2-P_3}{L_2}$ [%]	$\frac{P_3-P_4}{L_3}$ [%]	h _t /L [%]	s [%]	Q [0-3 m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f
76	65	58	50	108.00	44.00	3.3	2.1	2.3	2.6	0.6	0.30	1.53	0.90	0.109
148	122	102	78	119.25	55.00	7.8	5.9	7.0	6.9	0.1	0.55	2.80	1.28	0.086
228	184	147	106	126.25	62.25	13.1	10.9	12.0	12.0	1.1	0.80	4.08	1.87	0.071
422	332	252	168	139.00	73.00	26.9	23.7	24.5	25.0	1.7	1.20	6.11	2.80	0.066
583	453	338	215	142.80	78.80	38.8	34.0	35.9	36.2	2.0	1.45	7.39	3.39	0.065
843	649	473	290	149.60	85.60	57.9	52.1	54.4	53.8	3.6	1.80	9.17	4.21	0.063
1052	804	581	350	153.70	89.70	74.1	66.0	67.4	69.1	4.3	2.05	10.44	4.99	0.062
1294	987	707	419	157.85	93.85	91.7	82.8	84.0	86.2	4.8	2.30	11.72	5.38	0.062
1619	1229	874	510	162.44	98.44	116.5	105.0	106.2	109.2	6.3	2.60	13.25	6.08	0.061
1807	1370	971	563	164.70	100.70	130.5	118.0	119.1	122.5	6.9	2.70	13.75	6.31	0.064
2027	1536	1085	625	167.15	103.15	146.6	133.4	134.2	138.1	7.4	2.85	14.22	6.66	0.064
2243	1696	1195	685	169.30	105.30	163.3	148.2	148.8	153.4	8.6	3.00	14.78	7.01	0.064
1919	1455	1030	595	165.95	101.95	138.5	125.7	126.9	130.4	7.1	2.80	14.26	6.74	0.063
1586	1205	857	501	161.85	97.85	113.8	103.0	103.9	106.9	6.0	2.55	12.99	5.96	0.062
1196	911	654	390	156.16	92.16	85.1	76.0	77.0	79.4	5.0	2.15	10.95	5.02	0.065
1061	811	585	352	153.85	89.85	94.6	66.9	68.0	69.8	4.2	2.05	10.44	4.79	0.063
684	529	389	245	145.50	81.50	56.3	41.4	42.0	43.2	2.7	1.60	8.15	3.74	0.064
327	260	200	139	132.40	68.40	20.0	17.8	17.8	18.5	1.3	1.00	5.09	2.34	0.070
195	159	123	96	123.65	59.65	10.7	8.9	9.6	9.7	0.9	0.70	3.57	1.64	0.076
60	53	45	45	103.95	39.95	2.1	0.9	1.5	1.5	0.6	0.25	1.27	0.58	0.091

Huomautuksia: *Reiätönä* *rystyrälinen* Päiväys: *Toulu kuutti*



Veto-salaojaputki, $d_{si} = 50$ mm, nystyrällinen
 ei ulkoputkea
 $T = 17.0$ °C

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto

Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Veto-salaojaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

dsi	129 mm	L ₀	7040 mm
d _{uji}	—	L ₁	8631 mm
A _{si}	13070 mm	L ₂	8687 mm
T	14.0 °C	L ₃	8733 mm
v	1.980.10 ⁶ mm ³ /s	ΣL _i	26051 mm
h ₀	64.00		

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	PT P ₂ [1%]	P ₂ -P ₃ [1%]	P ₃ -P ₄ [1%]	h ₂ /L [1%]	s [%o]	Q.10 ⁻³ m ³ /s	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ³	f
1	84	82	80	78	139.15	75.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	1.25	0.96	1.05	0.055
2	144	135	125	117	168.20	104.20	1.0	1.2	0.9	1.0	0.2	2.95	2.26	2.47	0.050
3	180	166	152	137	179.40	115.40	1.6	1.6	1.7	1.6	0.1	3.90	2.83	3.03	0.051
4	235	211	188	166	191.60	127.60	2.8	2.6	2.5	2.6	0.2	4.85	3.71	4.06	0.048
5	295	261	228	195	202.15	138.15	3.9	3.8	3.8	3.8	0.1	5.90	4.51	4.93	0.044
6	349	305	262	220	209.50	145.50	5.1	4.9	4.8	4.9	0.2	6.70	5.13	5.61	0.044
7	430	370	312	255	218.50	154.50	7.0	6.7	6.5	6.7	0.3	7.70	5.89	6.44	0.049
8	518	440	366	293	226.25	162.25	9.0	8.5	8.4	8.6	0.3	8.70	6.66	7.28	0.049
9	644	541	443	345	235.60	171.60	11.9	11.3	11.2	11.5	0.4	10.05	7.69	8.41	0.049
10	767	638	516	395	242.70	178.70	14.9	14.0	13.9	14.3	0.6	11.20	8.57	9.37	0.049
11	964	796	639	483	252.30	188.30	18.5	18.1	17.9	18.5	0.9	12.96	9.87	10.73	0.048
12	1187	993	773	572	261.65	197.65	24.8	23.0	23.0	23.6	1.0	14.50	11.09	12.12	0.049
13	1455	1180	925	670	271.05	207.05	31.9	29.4	29.2	30.2	1.5	16.40	12.55	13.72	0.049
14	1701	1374	1066	760	278.75	214.75	37.9	35.5	35.0	36.1	1.6	17.75	13.58	14.85	0.050
15	1994	1598	1233	865	285.85	221.85	45.9	42.0	42.1	43.3	2.2	19.30	14.77	16.15	0.050
16	2331	1859	1424	986	293.75	229.75	54.7	50.1	50.2	51.7	2.6	21.05	16.11	17.61	0.050
17	2724	2142	1691	1138	284.65	220.65	47.3	40.4	40.4	41.7	2.3	19.05	14.58	15.94	0.050
18	3148	2251	1974	1298	274.00	210.00	34.4	31.9	31.6	32.6	1.5	16.96	12.93	14.14	0.049
19	3626	2699	2287	1476	263.55	199.55	26.3	24.4	24.5	25.1	1.1	14.70	11.25	12.30	0.050
20	4162	3193	2634	1675	252.70	188.70	19.6	18.3	18.2	18.7	0.8	12.90	9.87	10.73	0.049
21	4765	3684	3053	1881	245.30	181.30	16.3	15.1	15.1	15.5	0.7	11.75	8.99	9.83	0.049
22	5446	4221	3504	2098	241.70	177.70	14.5	13.5	13.3	13.8	0.6	11.05	8.57	9.27	0.049
23	6208	4827	4031	2338	234.65	170.65	11.9	11.1	10.6	11.1	0.6	9.90	7.57	8.28	0.049
24	7054	5452	4375	2599	227.55	163.55	9.5	8.9	8.7	9.0	0.4	8.85	6.97	7.40	0.050

Huomautuksia: Reiätämänä nystyrälinen

Päiväys: 16.2.1978

Paula Ruuska

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööriopisto
 Vesitalouden oppituuoli

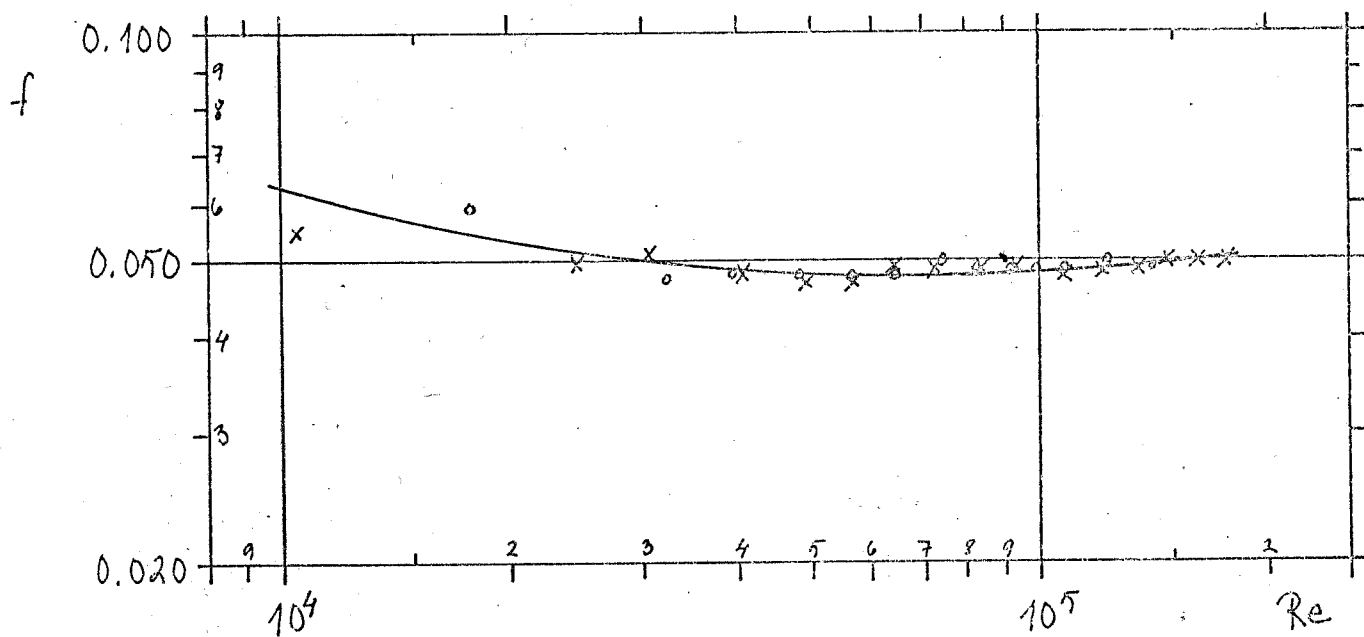
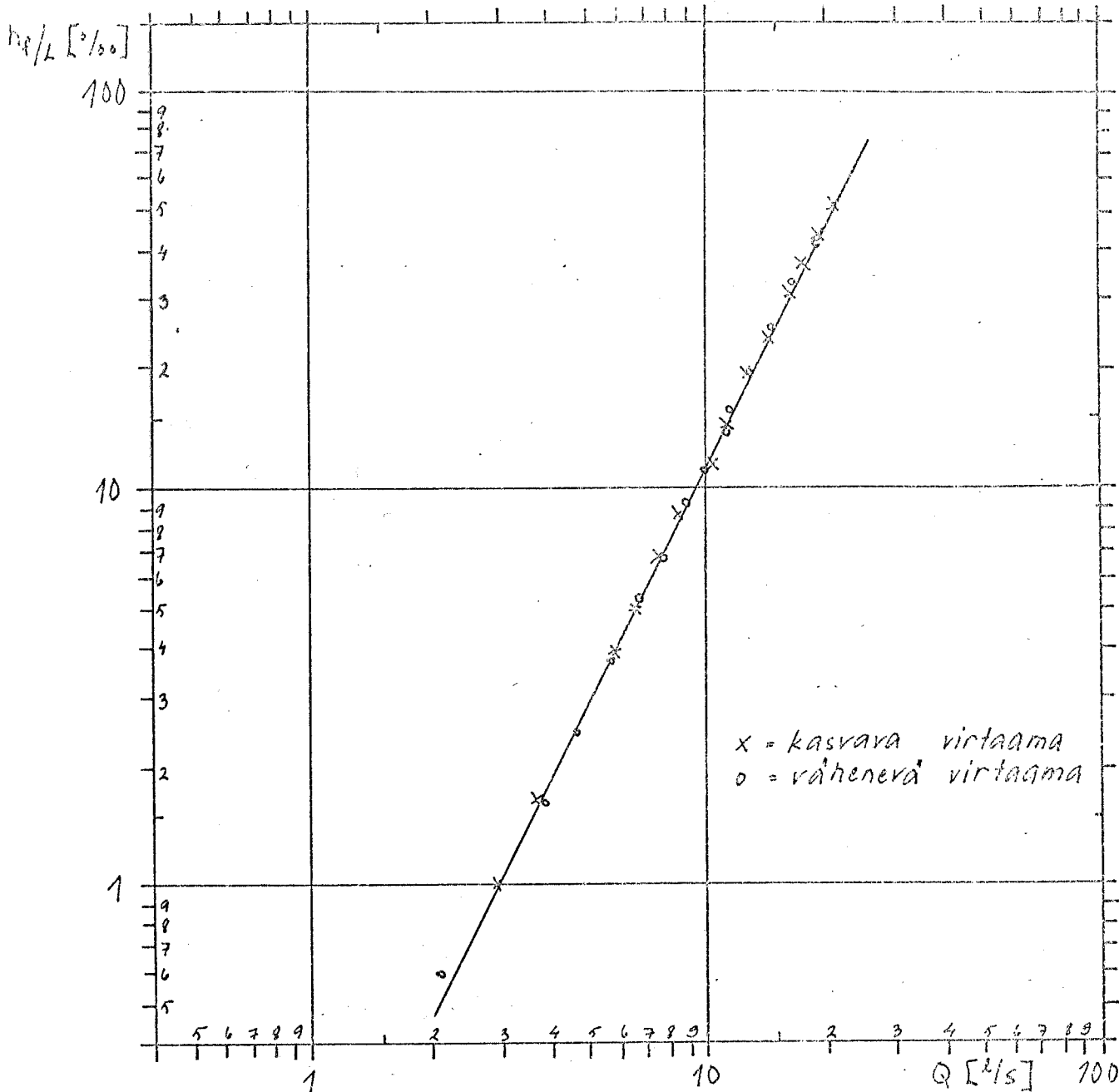
Putkityyppi: *Veto-salaajaiputki*

Valmistaja: *Oy Nokia Ab, Heinola*

d_{si}	<i>129 mm</i>	L_0	<i>7040 mm</i>
d_{uj}	<i>---</i>	L_1	<i>8631 mm</i>
Asi	<i>13070 mm²</i>	L_2	<i>8687 mm</i>
T	<i>14.0 °C</i>	L_3	<i>8755 mm</i>
v	<i>1.180 · 10⁻⁴ m³/s</i>	$\sum L_i$	<i>26051 mm</i>
h_0	<i>64.00</i>		

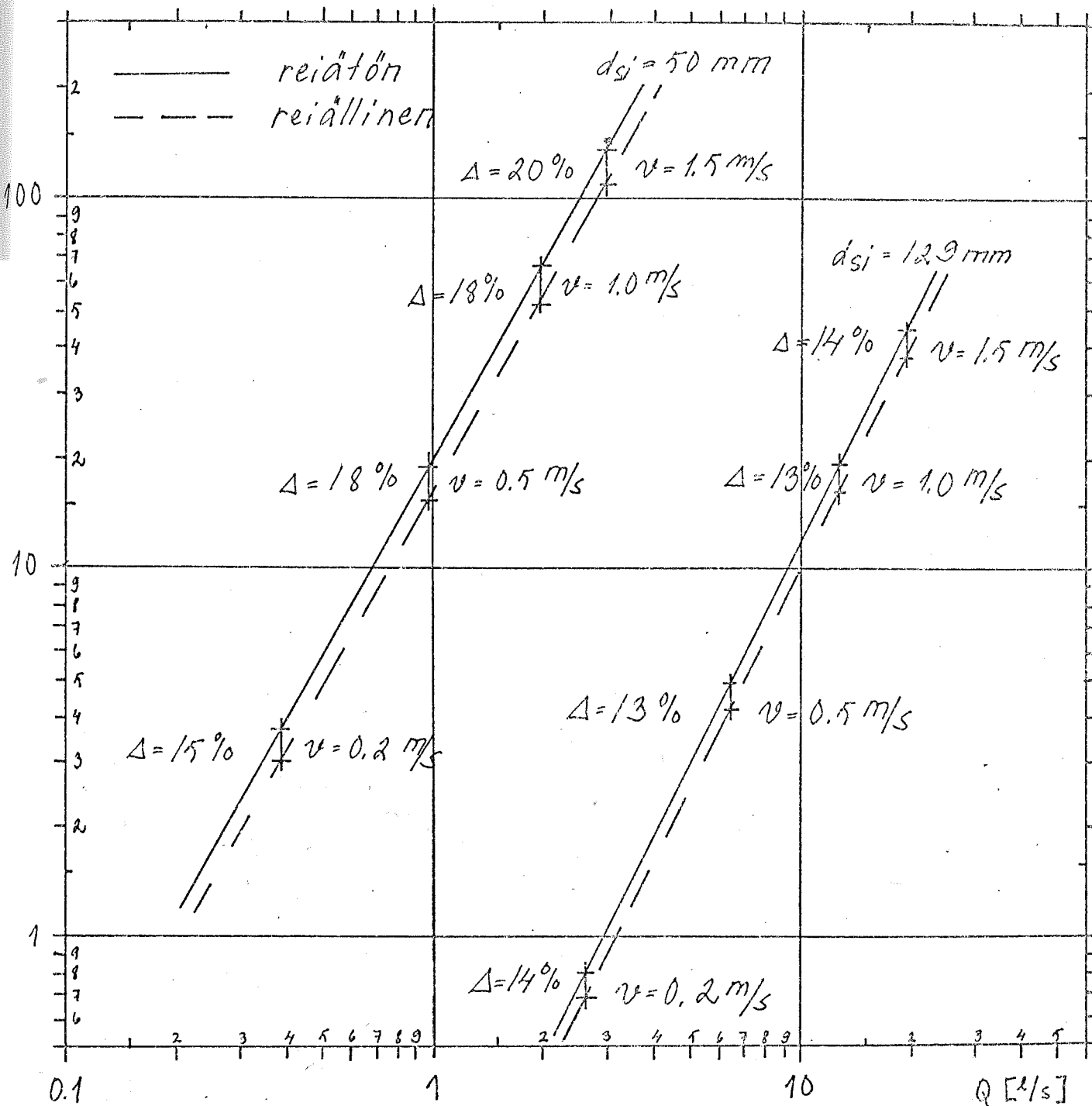
P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h - h_0$ [mm]	$P_1 - P_2$ [%]	$P_2 - P_3$ [%]	$P_3 - P_4$ [%]	$P_4 - P_1$ [%]	h_2/L [%]	s [%]	Q_{10-3} [m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁵	f
<i>25</i>	<i>426</i>	<i>367</i>	<i>254</i>	<i>218.15</i>	<i>154.15</i>	<i>6.9</i>	<i>6.6</i>	<i>6.4</i>	<i>6.6</i>	<i>6.6</i>	<i>0.2</i>	<i>7.75</i>	<i>5.93</i>	<i>6.48</i>	<i>0.048</i>
<i>26</i>	<i>361</i>	<i>314</i>	<i>225</i>	<i>210.75</i>	<i>146.75</i>	<i>5.4</i>	<i>5.2</i>	<i>5.0</i>	<i>5.2</i>	<i>5.2</i>	<i>0.2</i>	<i>6.85</i>	<i>5.24</i>	<i>5.73</i>	<i>0.048</i>
<i>27</i>	<i>290</i>	<i>256</i>	<i>193</i>	<i>201.20</i>	<i>137.20</i>	<i>3.9</i>	<i>3.6</i>	<i>3.7</i>	<i>3.9</i>	<i>3.7</i>	<i>0.2</i>	<i>5.80</i>	<i>4.44</i>	<i>4.85</i>	<i>0.048</i>
<i>28</i>	<i>225</i>	<i>204</i>	<i>163</i>	<i>189.85</i>	<i>125.85</i>	<i>2.4</i>	<i>2.4</i>	<i>2.3</i>	<i>2.4</i>	<i>2.4</i>	<i>0.1</i>	<i>4.65</i>	<i>3.56</i>	<i>3.89</i>	<i>0.048</i>
<i>29</i>	<i>183</i>	<i>169</i>	<i>140</i>	<i>180.00</i>	<i>116.00</i>	<i>1.6</i>	<i>1.7</i>	<i>1.6</i>	<i>1.6</i>	<i>1.6</i>	<i>0.1</i>	<i>3.85</i>	<i>2.95</i>	<i>3.22</i>	<i>0.048</i>
<i>30</i>	<i>114</i>	<i>109</i>	<i>100</i>	<i>155.30</i>	<i>91.30</i>	<i>0.6</i>	<i>0.6</i>	<i>0.5</i>	<i>0.5</i>	<i>0.6</i>	<i>0.1</i>	<i>2.10</i>	<i>1.61</i>	<i>1.96</i>	<i>0.048</i>

Huomautuksia: _____ Päiväys: *16. 2. 1978*
(Tuula Ikonen)

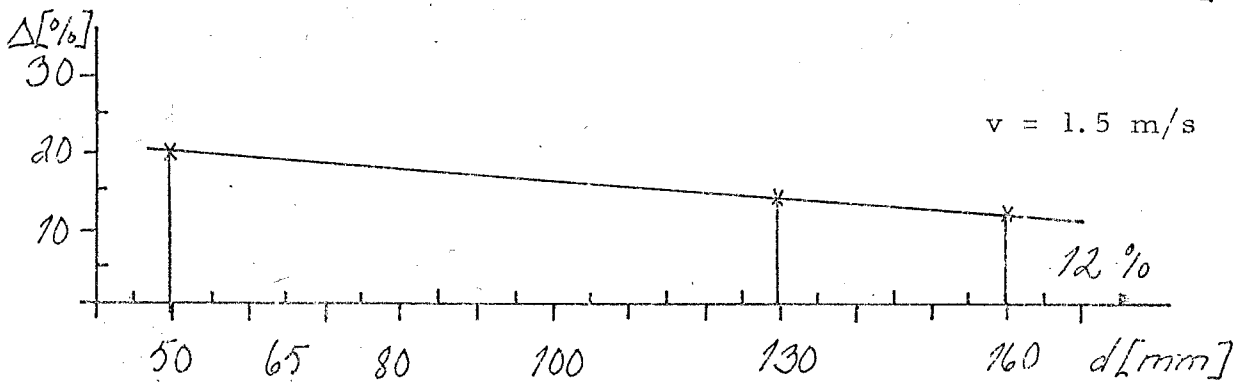
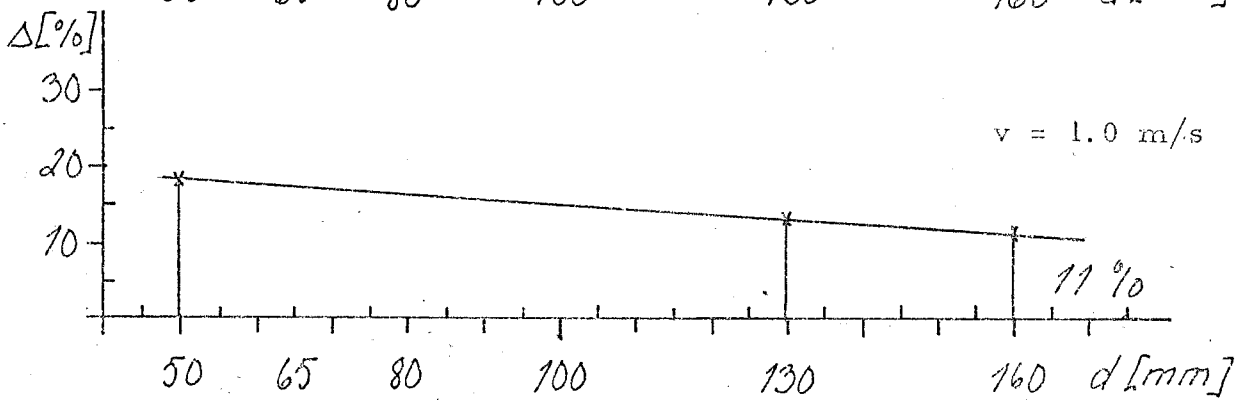
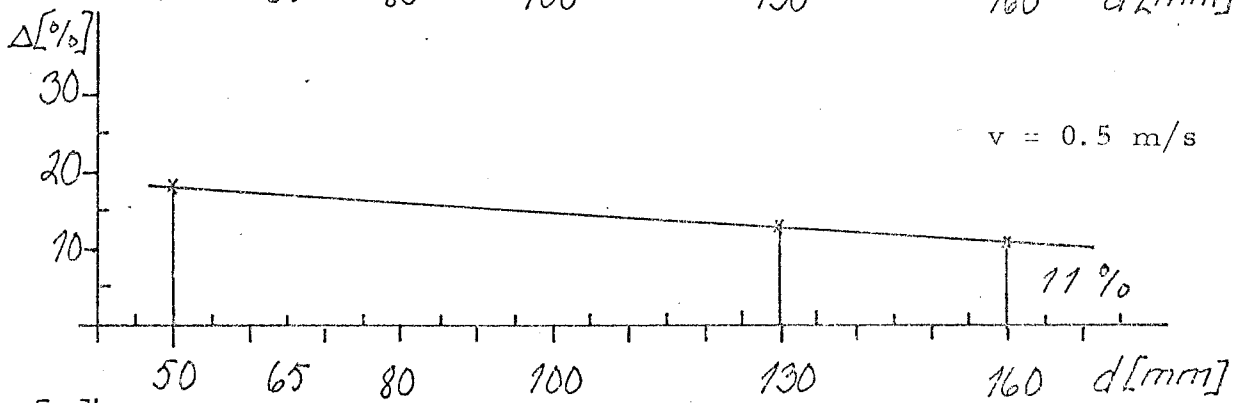
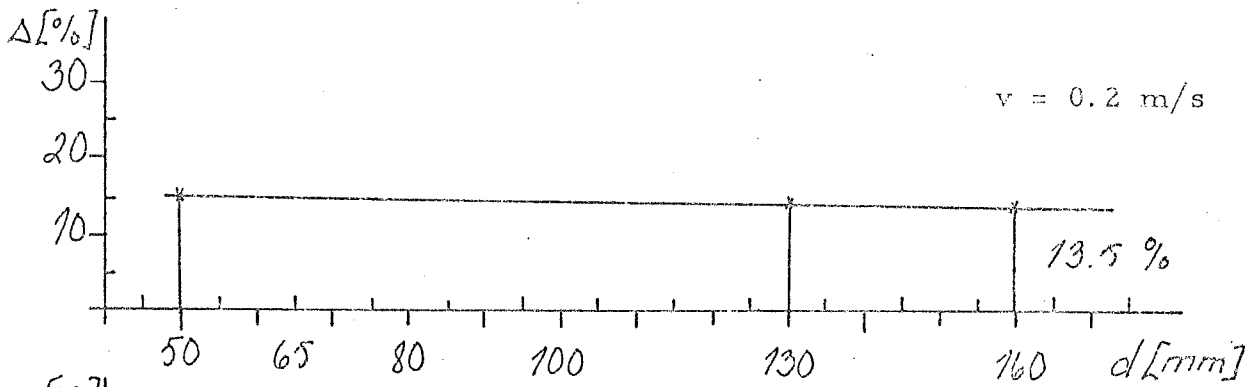


Veto-salaojaputki, $d_{si} = 12.9$ mm, nystyrällinen
 ei ulkoputkea
 $T = 14.0$ °C

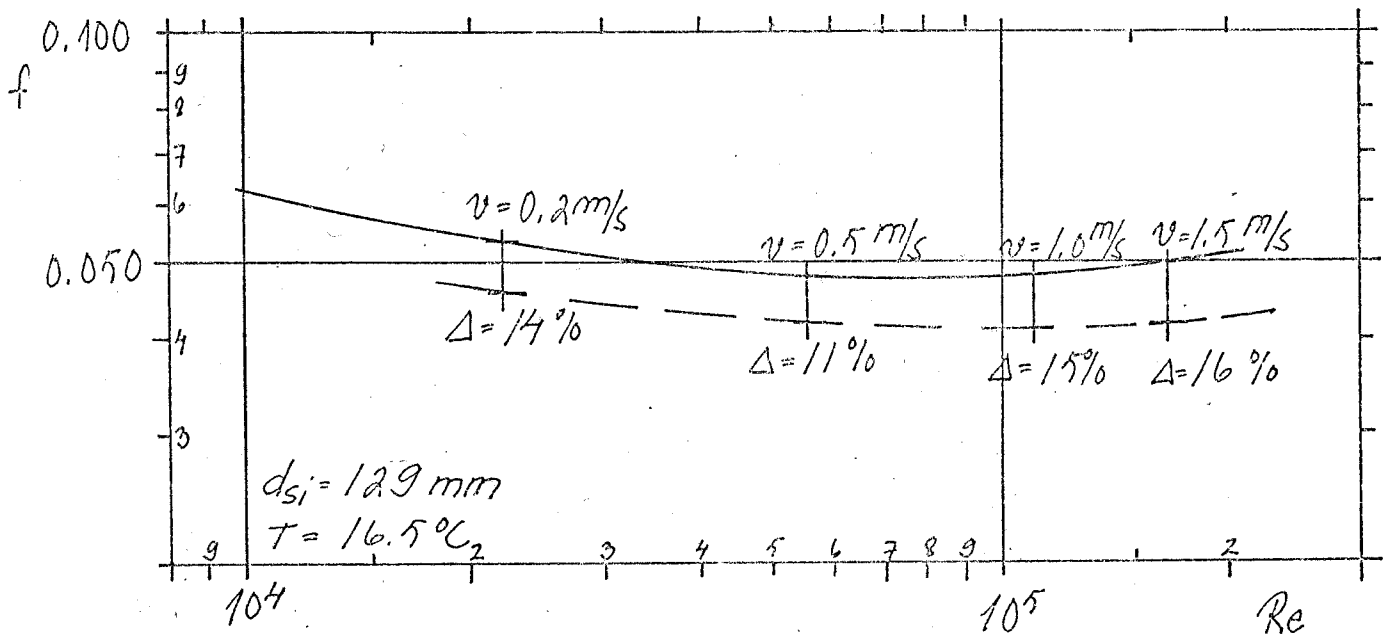
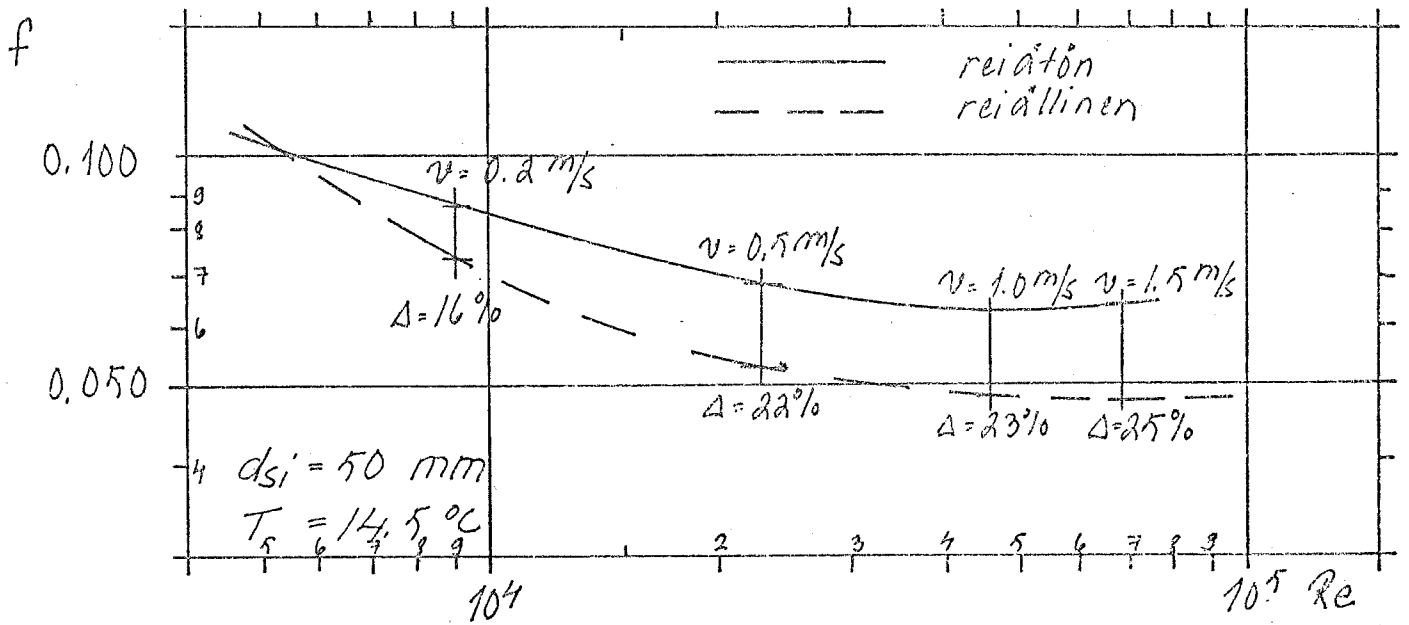
Δ [%]



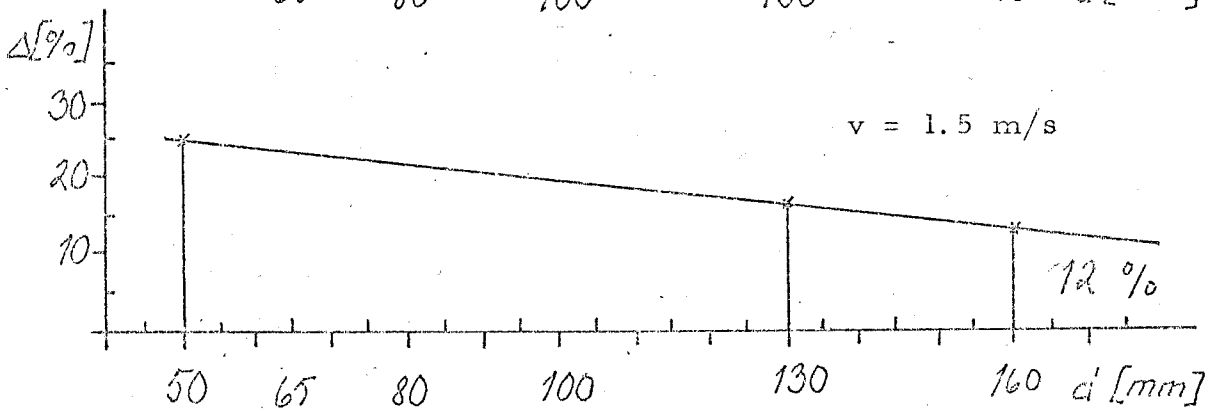
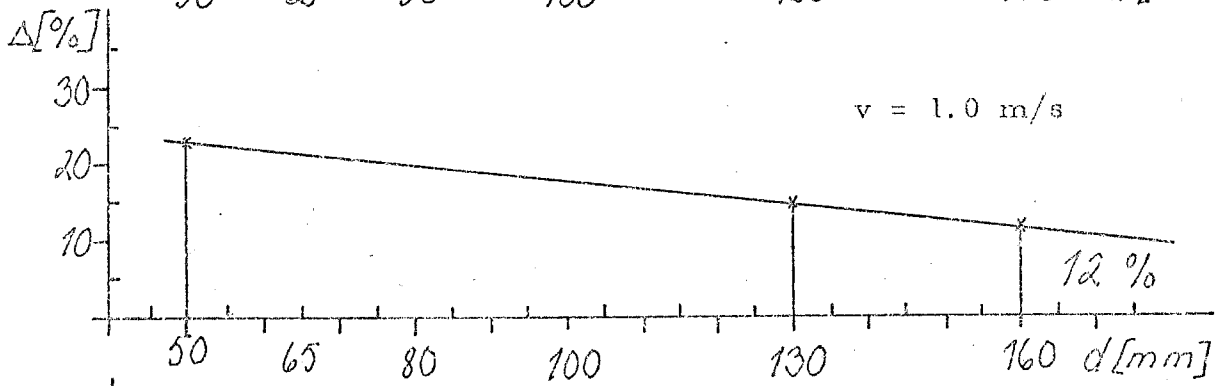
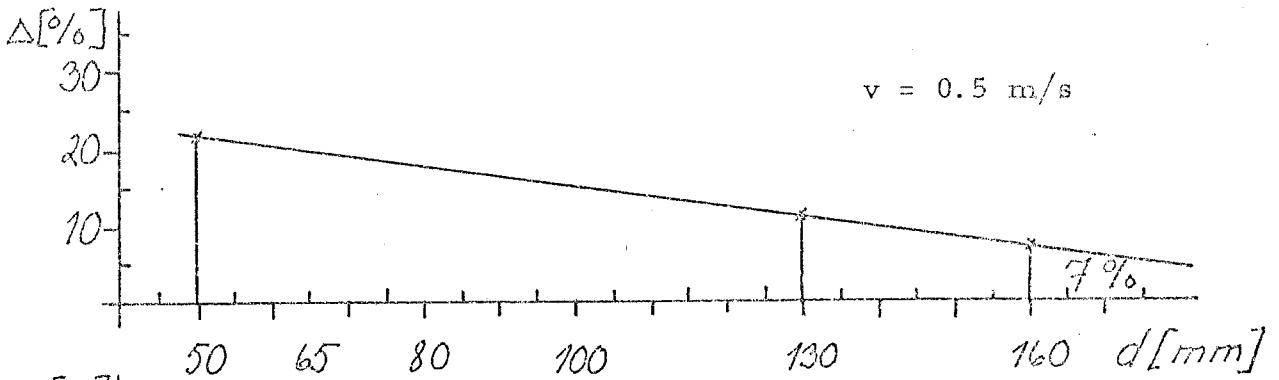
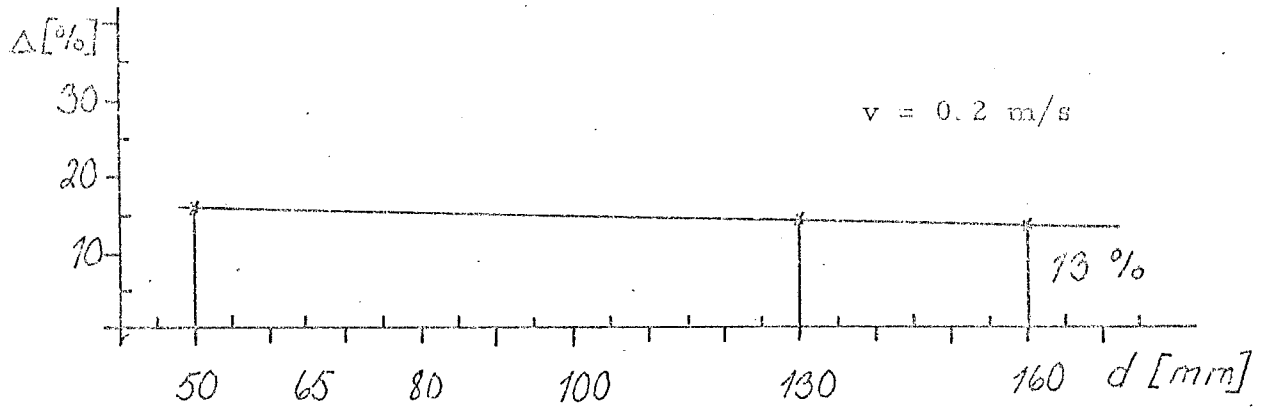
Rei'istä johtuva painehäviön alennus nystyrällisiin, reiättömiin putkiin verrattuna kahdella putkikoolla.



h_f/L -Q-käyrän korjausprosentin arvioiminen 160 mm:n putkelle



Rei'istä johtuva kitkahäviökertoimen pieneneminen nystyrällisiin, reiättömiin verrattuna kahdella putkikoolla.



f-Re-käyrän korjausprosentin arvioiminen 160 mm:n putkelle.

KAHDEN REIÄTTÖMÄNÄ VALMISTETUN, NYSTYRÄTTÖMÄN
PUTKEN MITTAUSTULOKSET.

TEKNILINEN KORKEAKOULU
Rakennusinsinööriopisto
Vesitalouden oppitunti

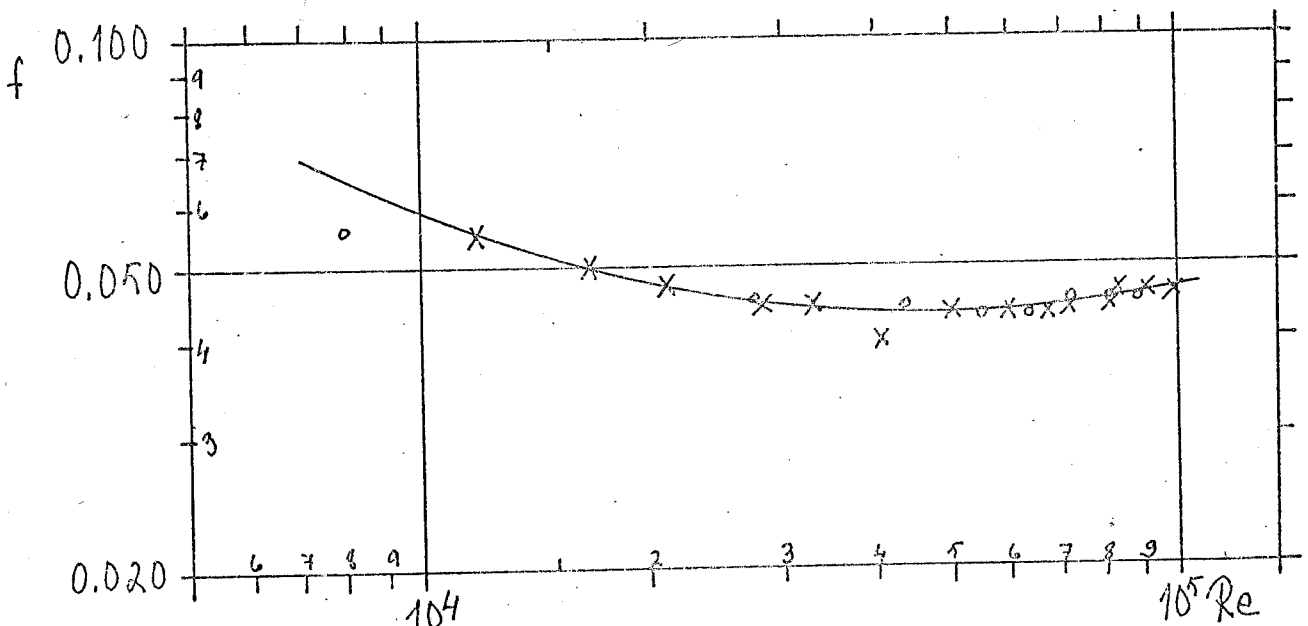
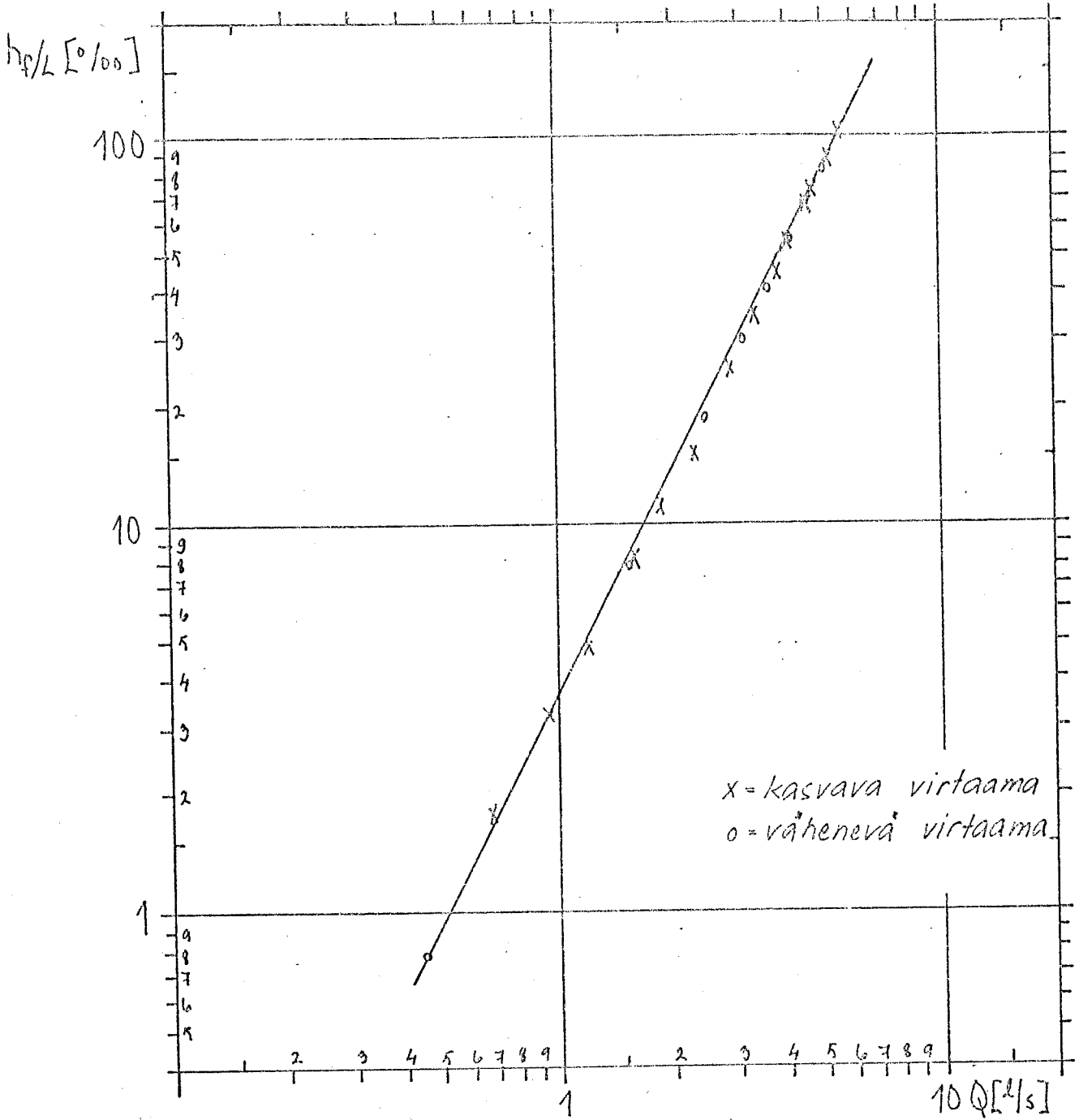
Putkityyppi: Veto-salaojaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

dsi	65 mm	L ₀	3420 mm
d _{ul}	—	L ₁	4444 mm
Asi	3318 mm ²	L ₂	4461 mm
T	16.0 °C	L ₃	4518 mm
v	1.120.10 ⁶ m ³ /s	ΣL _i	13723 mm
h _a	64.00		

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ [%]	P ₁ P ₃ [%]	P ₁ P ₄ [%]	P ₂ P ₃ [%]	P ₂ P ₄ [%]	P ₃ P ₄ [%]	h _f /L [%]	s [%]	Q10 ⁻³ m ³ /s	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ⁴	f	
1	101	93	84	97	123.50	59.50	1.8	2.0	1.5	2.0	3.4	2.9	1.8	0.3	0.68	2.05	1.18	0.075	
2	138	133	108	95	131.50	67.50	3.4	3.4	2.9	3.4	3.4	2.9	3.2	0.3	0.95	2.86	1.66	0.050	
3	176	154	132	112	137.30	73.30	5.0	4.9	4.4	4.9	4.9	4.4	4.8	0.3	1.20	3.62	2.10	0.047	
4	253	217	180	145	145.85	81.85	8.1	8.3	7.7	8.3	8.3	7.7	8.0	0.3	1.60	4.82	2.80	0.044	
5	315	267	216	168	150.30	86.30	11.5	10.8	10.6	10.8	10.8	10.6	11.0	0.5	1.88	5.67	3.29	0.044	
6	411	338	274	208	158.00	94.00	16.4	14.3	14.6	14.3	14.3	14.6	15.1	1.1	2.30	6.93	4.02	0.040	
7	628	516	405	291	167.00	103.00	25.2	24.9	25.2	24.9	24.9	25.2	25.1	0.2	2.85	8.59	4.99	0.043	
8	825	691	521	365	173.50	109.50	34.7	33.6	34.5	33.6	33.6	34.5	34.3	0.6	3.35	10.10	5.86	0.043	
9	1039	841	645	444	179.25	115.25	44.6	43.9	44.5	43.9	43.9	44.5	44.3	0.4	3.80	11.45	6.65	0.043	
10	1226	989	754	512	183.30	119.30	53.3	52.7	53.6	52.7	52.7	53.6	53.2	0.5	4.10	12.36	7.17	0.044	
11	1499	1202	911	610	188.50	124.50	66.8	65.2	66.6	65.2	65.2	66.6	66.2	0.9	4.58	13.80	8.01	0.044	
12	1624	1301	980	656	190.50	126.50	72.7	71.3	72.4	71.3	71.3	72.4	72.1	0.7	4.70	14.17	8.22	0.046	
13	1939	1550	1166	768	195.25	131.25	87.5	86.1	88.1	86.1	86.1	88.1	87.2	1.0	5.15	15.52	9.01	0.046	
14	2291	1830	1370	897	199.45	135.45	103.7	103.1	104.7	103.1	103.1	104.7	103.9	0.8	5.60	16.88	9.79	0.046	
15	1834	1465	1104	730	193.45	129.45	83.0	80.9	82.8	80.9	80.9	82.8	82.2	1.2	5.05	15.22	8.83	0.045	
16	1522	1222	925	619	188.75	124.75	67.5	66.6	67.7	66.6	66.6	67.7	67.3	0.6	4.60	13.86	8.05	0.045	
17	1238	999	761	517	183.50	119.50	53.8	53.4	54.0	53.4	53.4	54.0	53.7	0.5	4.10	12.36	7.17	0.045	
18	944	766	590	408	176.90	112.90	40.1	39.5	40.3	39.5	39.5	40.3	40.0	0.7	3.60	10.85	6.30	0.043	
19	723	595	464	329	170.45	106.45	29.9	29.4	29.9	29.4	29.4	29.9	29.7	0.3	3.10	9.34	5.42	0.043	
20	489	403	325	237	160.00	96.00	19.4	17.5	19.5	17.5	17.5	19.5	18.9	1.1	2.45	7.38	4.29	0.044	
21	246	211	176	142	145.20	81.20	9.9	7.8	7.5	7.8	7.8	7.5	7.7	0.2	1.55	4.67	2.71	0.045	
22	93	71	66	62	115.15	51.15	0.5	1.1	0.9	1.1	1.1	0.9	0.8	0.3	0.45	1.36	0.79	0.055	
23																			
24																			

Huomautuksia: Rei'ätönä ei nystryöitä päiväys: 9.1.1978
Teuola Suorin



Veto-salaojaputki ; $d_{si} = 65$ mm
 ei ulkoputkea
 $T = 16.0$ °C

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriosasto

Vesitalouden oppituoli

Putkityyppi: Veto-salaojaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

d_{aj}	81 mm	L_1	5290 mm
d_{ul}	—	L_1	5339 mm
A_{si}	5153 mm ²	L_2	5298 mm
T	16.0 °C	L_3	10210 mm
ν	1.120.10 ⁻⁷ m ² /s	ΣL_1	15845 mm
h_a	64.00	ΣL_1	

	P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_L [mm]	h [mm]	$h-h_a$ [mm]	$P_1 P_2 L_1$ [%]	$P_2 P_L$ [%]	$P_1 P_2 L_1$ [%]	h_f/L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	$Re \cdot 10^3$
1	67	65	64	118.95	57.95	0.4	0.2	0.8	0.5	0.3	0.57	1.07	0.77
2	114	109	100	136.60	72.60	1.1	1.5	1.5	1.4	0.2	1.15	2.23	1.61
3	160	149	134	146.25	82.25	2.1	2.8	3.1	2.7	0.5	1.60	3.10	2.24
4	231	211	185	156.45	92.45	3.7	4.9	5.0	4.5	0.7	2.20	4.27	3.09
5	306	275	238	164.10	100.10	5.8	7.0	7.2	6.7	0.8	2.65	5.14	3.72
6	395	352	300	170.75	106.75	8.1	9.8	10.4	9.4	1.2	3.15	6.11	4.42
7	457	403	341	174.50	110.50	9.6	11.7	12.3	11.2	1.4	3.70	6.60	4.77
8	574	506	422	181.10	117.10	12.7	15.9	16.1	14.9	1.9	3.90	7.57	5.47
9	670	589	489	185.25	121.25	15.2	19.1	19.4	17.9	2.3	4.25	8.25	5.97
10	797	698	574	190.45	126.45	18.5	23.4	23.6	21.8	2.9	4.60	8.93	6.46
11	932	810	662	194.90	130.90	22.9	27.9	28.0	26.3	2.9	5.10	9.90	7.16
12	1200	1037	841	202.30	138.30	30.5	39.0	39.2	34.9	3.8	5.90	11.45	8.28
13	1370	1182	954	206.60	142.60	35.2	43.0	43.2	40.5	4.6	6.35	12.32	8.91
14	1585	1364	1096	211.10	144.10	41.4	50.6	50.5	47.4	5.2	6.90	13.39	9.68
15	1858	1593	1274	216.10	152.10	49.7	60.2	59.7	56.5	5.9	7.45	14.46	10.46
16	2065	1768	1411	219.60	155.60	55.6	67.4	67.4	63.5	6.8	7.85	15.23	11.01
17	2301	1965	1563	223.10	159.10	63.0	75.9	75.6	71.5	7.4	8.35	16.20	11.72
18	1991	1705	1360	218.40	157.40	53.5	65.1	64.9	61.2	6.6	7.70	14.94	10.80
19	1375	1184	952	207.00	143.00	35.8	43.8	43.6	41.1	4.6	6.40	12.42	9.98
20	1079	933	756	199.65	135.65	27.4	33.4	33.2	31.3	3.4	5.60	10.87	7.86
21	929	805	657	195.20	131.20	23.2	27.9	28.0	26.4	2.7	5.20	10.09	7.30
22	795	692	567	190.70	126.70	19.3	23.6	23.6	22.2	2.5	4.75	9.22	6.67
23	669	585	483	186.00	122.00	15.7	19.3	19.1	18.0	2.0	4.25	8.44	6.10
24	595	505	419	181.60	117.60	13.1	16.2	16.3	15.2	1.8	3.95	7.67	5.77

Huomautuksia: Reikäkameran ei nystyröitä.

Päiväys: 27.1.1979

Muuta lausuntoja:

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööri-osasto
 Vesitalouden oppituoli

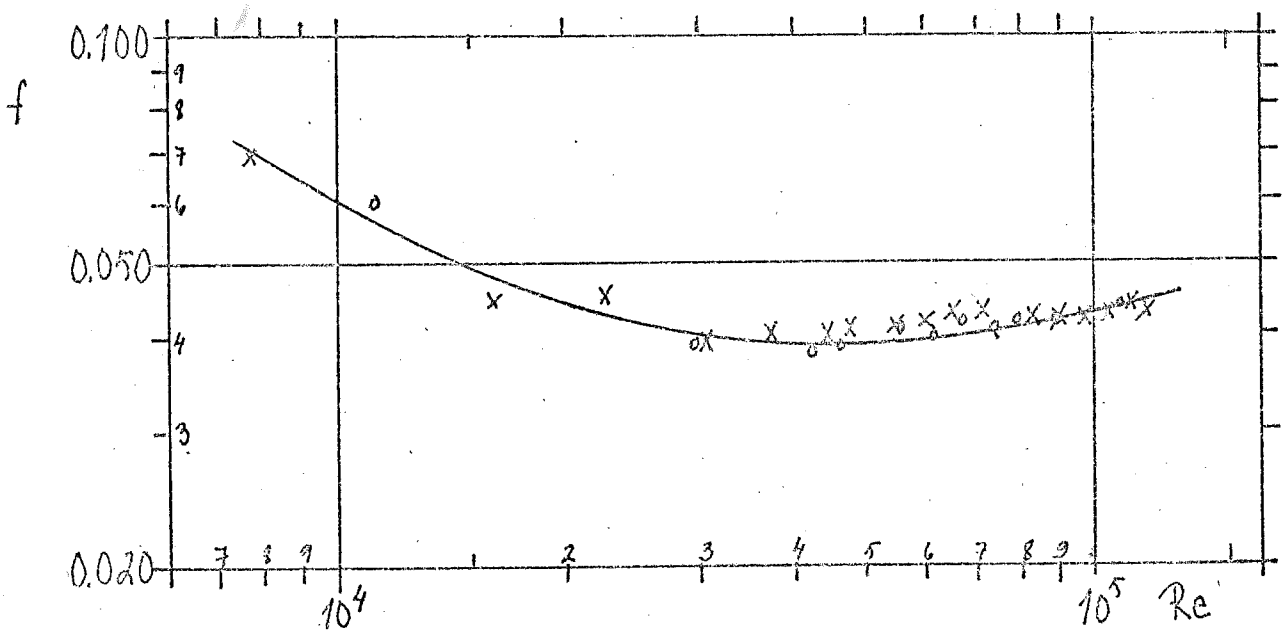
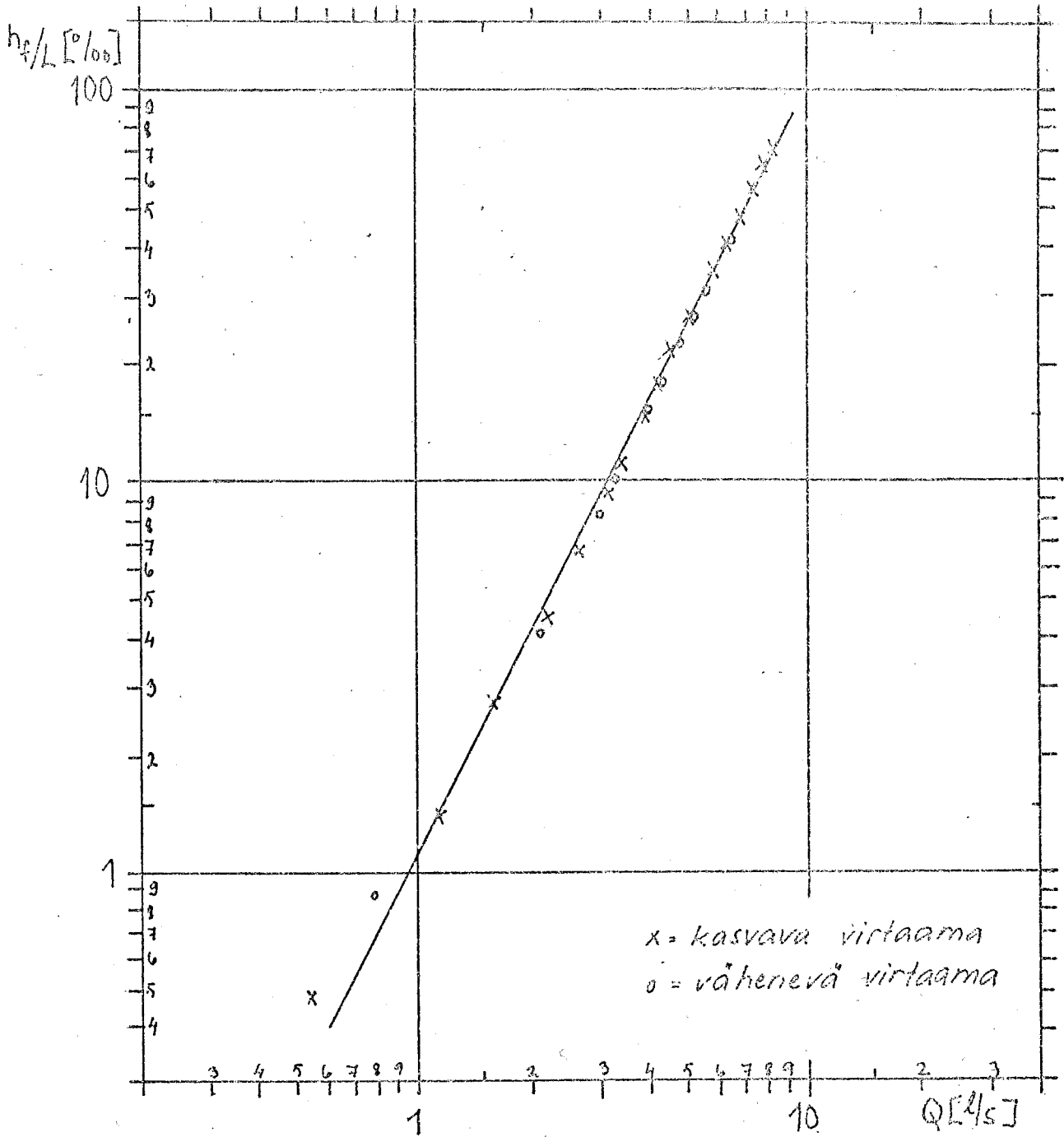
d_{si}	8 / mm	L_p	5290 mm
d_{li}	—	L_1	1337 mm
A_{si}	5153 mm ²	L_2	1298 mm
T	16.0 °C	L_3	1210 mm
ν	1.120 $\cdot 10^{-6}$ m ² /s	$\sum L_i$	15845 mm
h_p	64.00		

Putkityyppi: Veto-salaojaputki

Valmistaja: Oy Nokia Ab, Heinola

	P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h - h_p$ [mm]	$P_1 - P_2$ L_1 [%]	$P_2 - P_3$ L_2 [%]	$P_3 - P_4$ L_3 [%]	h_f / L [%]	s [%]	Q [10^{-3} m ³ /s]	v [10^{-1} m/s]	Re $\cdot 10^4$	f
25	414	367	310	254	172.80	108.80	8.8	10.8	10.7	10.1	1.1	3.30	6.70	4.63	0.039
26	355	316	270	224	168.60	104.60	7.3	8.6	8.8	8.2	0.8	3.00	5.82	4.21	0.038
27	217	199	175	151	155.20	91.20	3.4	4.5	4.6	4.1	0.7	2.10	4.08	2.95	0.039
28	89	85	81	75	128.10	64.10	0.7	0.8	1.2	0.9	0.3	0.80	1.55	1.12	0.060

Huomautuksia: _____ Päiväys: 27.1.1978
 (Mika Suorhi)



Veto-salaojaputki, $d_{si} = 81$ mm
 ei ulkoputkea
 $T = 16.0$ °C

KAHDEN RUOTSALAISEN PUTKEN MITTAUSTULOKSET.

TEKNILINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriosaasto

Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Kubonyl-salaojaputki

Valmistaja: Kubonyl, Finland

d _{si}	50 mm	L ₀	2520 mm
d _{ui}	65 mm	L ₁	3329 mm
A _{si}	1963 mm	L ₂	3350 mm
T	140 °C	L ₃	3342 mm
v	1.180.10 ⁻⁴ m/s	ΣL _i	10024 mm
h ₀	64.00		

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ [%]	P ₁ P ₃ [%]	P ₁ P ₄ [%]	P ₂ P ₃ [%]	P ₂ P ₄ [%]	P ₃ P ₄ [%]	h ₁ /L [%]	s [%]	Q ₁₀₋₃ [m/s]	v [10 ⁻¹ m/s]	R _a · 10 ⁴	f
1	75	51	46	44	103.15	39.15	1.2	1.5	0.6	1.5	1.7	1.8	1.1	0.5	0.25	1.27	0.54	0.067
2	81	73	64	58	110.95	46.95	2.4	2.7	1.8	2.7	2.9	3.0	2.3	0.5	0.35	1.78	0.75	0.071
3	137	119	100	83	120.00	56.00	5.4	5.7	5.1	5.7	5.9	6.0	5.4	0.3	0.60	3.06	1.30	0.057
4	205	175	142	110	127.10	63.10	9.0	9.8	9.6	9.8	10.0	10.1	9.5	0.4	0.80	4.08	1.73	0.056
5	309	259	204	149	134.35	70.35	15.0	16.4	16.5	16.4	16.5	16.6	16.0	0.8	1.05	5.35	2.27	0.055
6	422	349	268	189	139.75	75.75	21.9	24.2	23.6	24.2	24.3	24.4	23.2	1.2	1.30	6.62	2.81	0.052
7	509	419	318	219	143.85	79.85	27.0	30.1	29.6	30.1	30.2	30.3	28.9	1.7	1.50	7.64	3.24	0.049
8	615	503	379	256	147.00	83.00	33.6	37.0	36.8	37.0	37.1	37.2	35.8	1.9	1.65	8.41	3.56	0.050
9	752	612	455	303	150.75	86.75	42.1	46.8	45.5	46.8	47.0	47.1	44.8	2.4	1.85	9.40	3.99	0.050
10	923	749	553	361	154.80	90.80	52.3	58.5	57.5	58.5	58.6	58.7	56.1	3.3	2.05	10.44	4.42	0.050
11	1144	925	679	437	159.10	95.10	65.8	73.4	72.4	73.4	73.5	73.6	70.5	4.1	2.35	11.97	5.07	0.048
12	1330	1070	784	500	162.00	98.00	78.1	85.3	85.0	85.3	85.4	85.5	82.8	4.1	2.55	12.99	5.50	0.048
13	1600	1283	934	589	166.00	102.00	95.2	104.1	103.2	104.1	104.2	104.3	100.8	4.9	2.85	14.42	6.15	0.047
14	1808	1449	1052	660	168.85	104.85	107.8	118.4	117.3	118.4	118.5	118.6	114.5	5.8	3.00	15.28	6.47	0.048
15	1995	1595	1155	721	171.00	107.00	120.2	131.2	129.9	131.2	131.3	131.4	127.1	6.0	3.15	16.05	6.80	0.048
16	2345	1892	1352	838	174.80	110.80	142.1	155.1	153.8	155.1	155.2	155.3	150.3	7.2	3.45	17.58	7.45	0.048
17	2016	1613	1168	728	171.10	107.10	121.1	132.9	131.7	132.9	133.0	133.1	128.5	6.4	3.20	16.30	6.91	0.047
18	1714	1373	997	621	167.40	103.40	102.4	112.1	112.5	112.1	112.2	112.3	109.0	5.7	2.90	14.77	6.26	0.049
19	1351	1028	794	506	162.50	98.50	79.0	87.7	86.2	87.7	87.8	87.9	84.5	4.7	2.55	12.99	5.50	0.049
20	1008	816	602	390	156.30	92.30	57.7	63.8	63.4	63.8	63.9	64.0	61.6	3.4	2.15	10.95	4.64	0.050
21	830	674	501	330	152.45	88.45	46.9	51.6	51.2	51.6	51.7	51.8	49.4	2.6	1.95	9.93	4.21	0.050
22	664	543	407	274	148.25	84.25	36.3	40.6	40.0	40.6	40.7	40.8	39.0	2.3	1.75	8.91	3.78	0.048
23	537	440	334	229	144.25	80.25	29.1	31.6	31.4	31.6	31.7	31.8	30.7	1.4	1.55	7.90	3.35	0.048
24	401	332	257	182	138.80	74.80	20.7	22.4	22.4	22.4	22.5	22.6	21.8	1.0	1.25	6.37	2.70	0.053

Huomautuksia:

Päiväys: 9.2.1978

(Handwritten signature)

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
 Rakennusinsinööriosasto
 Vesitalouden oppitunti

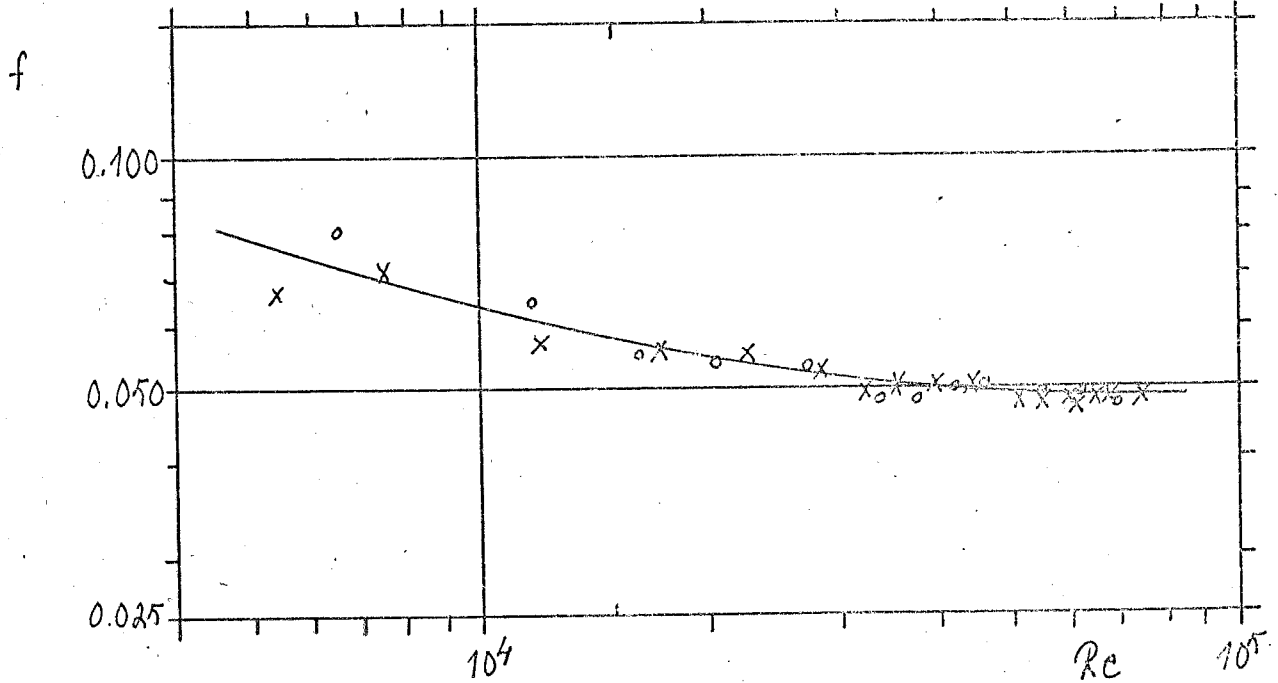
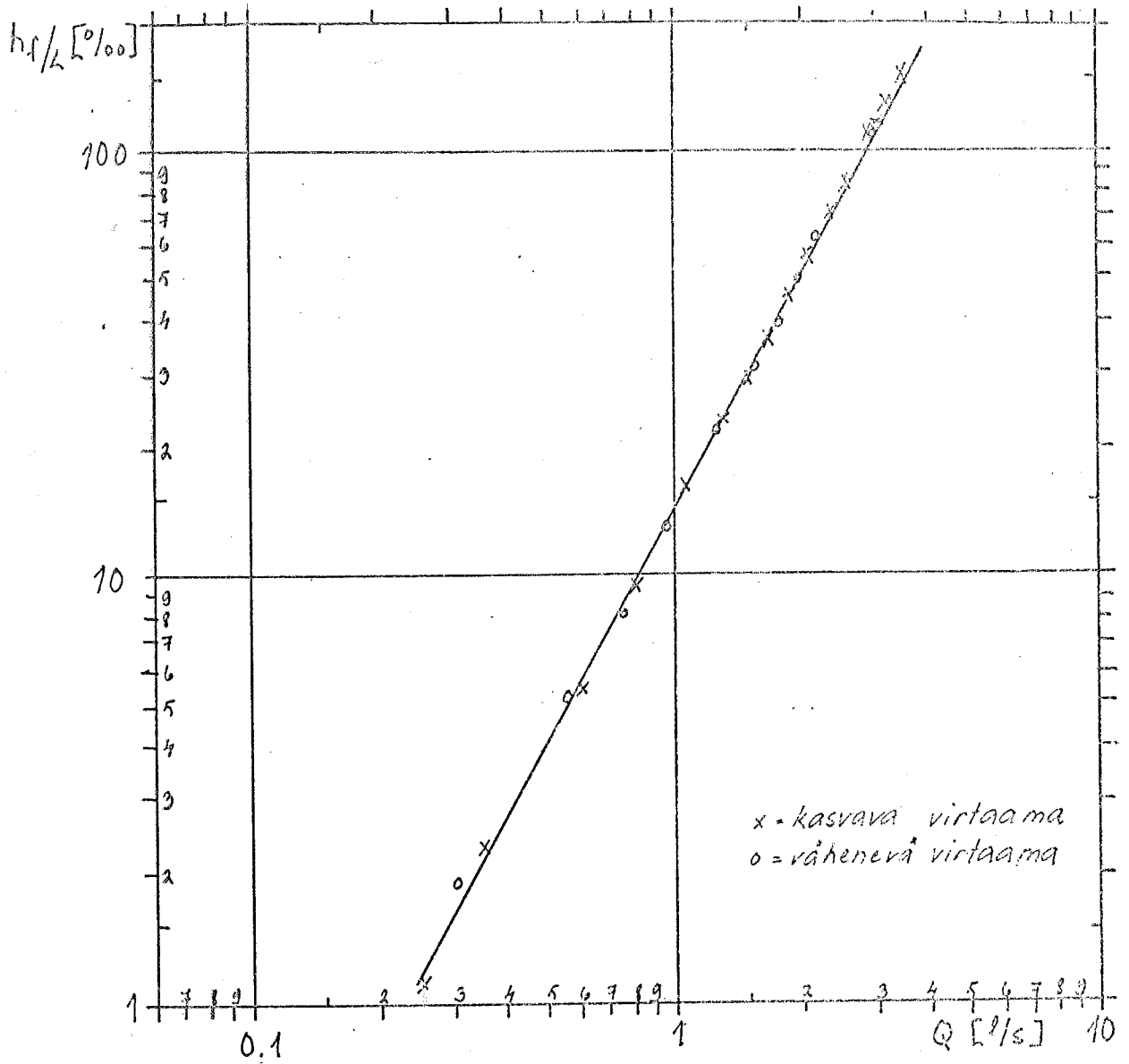
Putkityyppi: *lubonyl-salaajaputki*

Valmistaja: *lubonyl, Fristad*

dsj	50 mm	L ₀	2520 mm
d _{li}	65 mm	L ₁	3323 mm
A _{si}	1963 mm ²	L ₂	3353 mm
T	14.0 °C	L ₃	3372 mm
ν	1.180 · 10 ⁻⁶ s ² /m ²	ΣL _i	10024 mm
h ₀	69.00		

P_1 [mm]	P_2 [mm]	P_3 [mm]	P_4 [mm]	h [mm]	$h-h_0$ [mm]	P_1/P_2 [%]	P_2/P_3 [%]	P_3/P_4 [%]	$(P_1^2 - P_4^2) / (3 - P_2^2)$ [%]	h_f/L [%]	s [%]	$Q(10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})$	v (10 ⁻¹ m/s)	$Re \cdot 10^4$	f
262	221	176	132	131.25	67.35	13.3	13.4	13.2	13.0	13.0	0.6	0.95	4.84	2.05	0.054
286	160	131	104	125.30	61.30	7.9	8.6	8.1	8.2	8.2	0.4	0.75	3.82	1.62	0.055
27	119	101	84	119.75	55.75	5.1	5.4	5.1	5.2	5.2	0.2	0.55	2.80	1.13	0.065
20	74	60	55	108.25	44.25	1.8	2.4	1.5	1.9	1.9	0.6	0.30	1.59	0.65	0.080

Huomautuksia: _____
 Päiväys: *9.2.1978*
Muula Suorita



Lubonyl-salaojaputki, $d_{si} = 50$ mm
 $d_{ui} = 65$ mm
 $T = 14.0$ °C

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriosaisto

Vesitalouden oppitunti

Putkityyppi: Kubonyl-salaojaputki

Valmistaja: Kubonyl, Fristad

d _{si}	113 mm	L ₀	5647 mm
d _{ui}	160 mm	L ₁	4595 mm
A _{si}	10029 mm ²	L ₂	7576 mm
T	13,5 °C	L ₃	7562 mm
v	1,95·10 ⁻⁶ m/s	ΣL _i	22613 mm
h ₀	6400	h ₁	

	P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h _i [mm]	h-h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ L ₁ [%s]	P ₂ P ₃ L ₂ [%s]	P ₃ P ₄ L ₃ [%s]	h _f /L [%s]	s [%s]	Q (10 ⁻³ m ³ /s)	v (10 ⁻¹ m/s)	Re · 10 ⁴	f
1	118	110	105	96	155.60	91.60	1.1	0.7	1.2	1.0	0.3	2.15	2.14	2.02	0.048
2	210	184	162	135	182.00	118.00	3.5	2.9	3.6	3.3	0.4	4.00	3.99	3.77	0.046
3	263	226	192	153	191.85	127.85	4.9	4.5	5.2	4.9	0.4	4.85	4.84	4.58	0.046
4	313	264	219	168	192.00	135.00	6.5	6.0	6.7	6.4	0.4	5.55	5.53	5.23	0.046
5	352	294	239	180	203.90	139.90	7.7	7.3	7.8	7.6	0.3	6.05	6.03	5.70	0.046
6	424	348	276	200	211.45	147.45	10.1	9.6	10.1	9.9	0.3	6.90	6.88	6.51	0.046
7	503	407	317	222	218.40	154.40	12.7	12.0	12.6	12.4	0.4	7.75	7.93	7.31	0.046
8	619	496	378	256	226.50	162.50	16.3	15.7	16.1	16.0	0.3	8.70	8.67	8.20	0.047
9	781	616	457	296	236.30	172.30	21.9	21.2	21.3	21.5	0.4	10.15	10.12	9.57	0.047
10	944	739	531	331	245.00	181.00	27.3	27.5	26.4	27.1	0.6	11.55	11.52	10.89	0.045
11	1059	820	585	352	250.50	186.50	31.7	31.3	30.8	31.3	0.5	12.50	12.46	11.72	0.045
12	1224	940	663	382	257.55	193.55	37.7	36.9	37.2	37.3	0.4	13.80	13.76	13.01	0.044
13	1403	1067	742	415	263.90	199.90	44.6	43.2	43.2	43.7	0.8	14.80	14.76	13.96	0.044
14	1561	1199	807	434	269.75	205.75	50.7	49.5	49.3	49.8	0.8	16.10	16.05	15.18	0.043
15	1745	1312	889	466	275.10	211.10	57.4	56.3	55.9	56.5	0.9	17.15	17.10	16.17	0.043
16	1955	1463	980	498	280.85	216.85	65.3	64.3	63.7	64.4	0.8	18.25	18.20	17.21	0.043
17	2180	1623	1077	530	285.90	221.90	73.9	72.6	72.3	72.9	0.9	19.30	19.24	18.19	0.044
18	2863	1997	1336	477	278.30	214.30	61.8	61.3	60.7	61.3	0.6	17.45	17.40	16.74	0.043
19	1535	1161	792	421	269.10	205.10	49.6	49.1	49.1	49.3	0.3	15.95	15.90	15.04	0.043
20	1189	910	635	359	257.30	193.30	39.0	36.6	36.5	36.7	0.3	13.70	13.66	12.92	0.044
21	999	769	547	322	249.15	185.15	30.5	29.5	29.8	29.9	0.5	12.30	12.26	11.59	0.044
22	767	598	433	267	238.30	174.30	22.4	22.0	22.0	22.1	0.2	10.50	10.47	9.90	0.045
23	599	475	355	233	227.80	163.80	16.5	16.0	16.1	16.2	0.3	8.90	8.87	8.39	0.046
24	523	418	318	216	222.00	158.00	13.9	13.3	13.5	13.6	0.3	8.20	8.18	7.74	0.045

Huomautuksia:

Päiväys: 13.2.1998

(Nimellä ja alkuun)

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennusinsinööriopisto
Vesitalouden oppituuoli

Putkityyppi: Lubonyl-sälaojaputki
Valmistaja: Lubonyl, Fristad

d _{si}	113 mm	L ₀	5617 mm
d _{uij}	160 mm	L ₁	7595 mm
A _{si}	10020 mm ²	L ₂	7516 mm
T	13.5 %	L ₃	7562 mm
v	1.195 · 10 ⁻⁶ m ³ /s	Σ L _i	22613 mm
h _a	64.00		

P ₁ [mm]	P ₂ [mm]	P ₃ [mm]	P ₄ [mm]	h [mm]	h - h ₀ [mm]	P ₁ P ₂ ₄ [%]	P ₁ P ₂ ₃ [%]	P ₂ P ₃ [%]	P ₂ P ₃ [%]	P ₃ P ₄ [%]	h ₁ /L [%]	s [%]	Q [10 ⁻³ m ³ /s]	v [10 ⁻¹ m/s]	Re · 10 ²	t
24	330	260	187	211.00	147.00	9.7	9.3	9.7	9.7	9.7	9.6	0.2	6.90	6.88	6.51	0.045
26	298	250	160	198.00	134.00	6.4	5.7	6.2	6.2	6.1	6.1	0.4	5.45	5.43	5.13	0.046
28	220	192	139	184.95	120.95	3.9	3.5	3.9	3.9	3.7	3.7	0.2	4.25	4.24	4.01	0.046
28	150	135	111	167.00	103.00	2.0	1.3	1.9	1.9	1.7	1.7	0.4	2.90	2.89	2.93	0.045
28	90	85	80	140.65	76.65	0.7	0.1	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	1.30	1.30	1.23	0.042

Huomautuksia: _____ Päiväys: 13.2.1978
Antti Suorinki

h_e/L [‰]

100

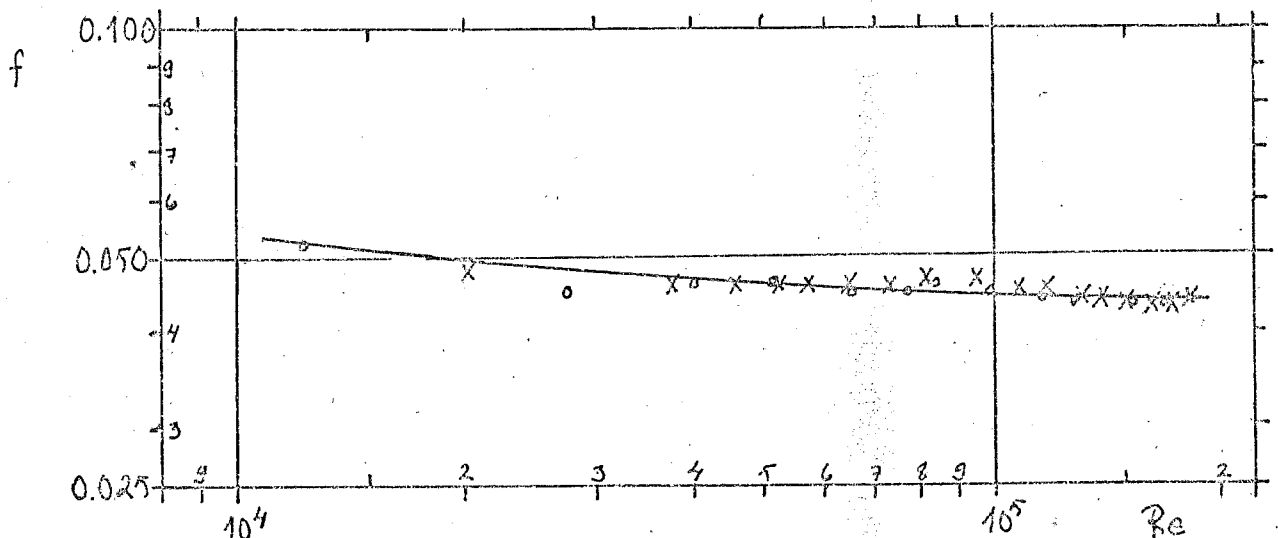
10

1

5 6 7 8 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 1 2 3 4 5 6 7

Q [l/s]

x = kasvava virtaama
o = vähenevä virtaama



Lubonyl-salaojaputki, $d_{si} = 113$ mm
 $d_{ui} = 160$ mm
 $T = 13.5$ °C